



SKRIPSI - ME-141501

**PEMANFAATAN PERBEDAAN TEMPERATUR
PADA MAIN ENGINE COOLING SYSTEM
SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF UNTUK
PEMBANGKIT LISTRIK DI KAPAL**

Teguh Julianto
NRP 4212 100 038

Dosen Pembimbing
Indra Ranu Kusuma, ST M.Sc
Juniarko Prananda, ST MT

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



Final Project - ME-141501

**UTILIZATION OF TEMPERATURE
DIFFERENCE ON MAIN ENGINE COOLING
SYSTEM AS AN ALTERNATIVE ENERGY
FOR POWER PLANTS IN VESSEL**

Teguh Julianto
NRP 4212 100 038

Advisor:
Indra Ranu Kusuma, ST M.Sc
Juniarko Prananda, ST MT

Department of Marine Engineering
Faculty of Marine Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

LEMBAR PENGESAHAN

PEMANFAATAN PERBEDAAN TEMPERATUR PADA MAIN ENGINE COOLING SYSTEM SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK DI KAPAL

SKRIPSI

**Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada**

**Bidang Studi *Marine Electrical and Automation System* (MEAS)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

**Teguh Julianto
Nrp. 4212 100 038**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

- 1. Indra Ranu Kusuma, ST M.Sc**
- 2. Juniarko Prananda, ST MT**



**SURABAYA
27 JULI, 2016**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**PEMANFAATAN PERBEDAAN TEMPERATUR PADA
MAIN ENGINE COOLING SYSTEM SEBAGAI ENERGI
ALTERNATIF UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK DI
KAPAL**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi *Marine Electrical and Automation System (MEAS)*
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
Teguh Julianto
Nrp. 4212 100 038

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan :


Dr. Eng. M. Badruz Zaman, S.T., M.T.
NIP. 19770802 200801 1007

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PEMANFAATAN PERBEDAAN TEMPERATUR PADA MAIN ENGINE COOLING SYSTEM SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK DI KAPAL

Nama : Teguh Julianto
NRP : 4212 100 038
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : Indra Ranu Kusuma, S.T., M.Sc.
Juniarko Prananda, S.T., M.T.

ABSTRAK

Dari 100 persen bahan bakar yang masuk ke dalam mesin kapal, hanya sekitar 40 persen yang dikonversi menjadi daya. Sedangkan 30 persen panas dilepas menuju sistem pendingin (*cooling system*) dan sisanya menjadi gas buang (*exhaust*). Energi panas yang terbuang tersebut bisa dimanfaatkan menjadi energi listrik. Perbedaan temperatur antara air panas yang keluar dari mesin kapal dan air laut yang digunakan sebagai pendingin dapat dikonversi menjadi energi listrik dengan menggunakan *thermoelectric*. Besarnya daya listrik yang dihasilkan tergantung pada besarnya perbedaan temperatur dan jumlah *thermoelectric* yang dipasang. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menemukan metode yang tepat guna memanfaatkan energi panas yang terbuang pada sistem pendingin mesin. Metode yang digunakan adalah dengan melakukan kajian pustaka serta analisa eksperimen menggunakan prototype. Hasil penelitian berdasarkan keluaran *jacket water* mesin Wartsila 6L20 sebesar 91 °C yang harus didinginkan dengan air laut bertemperatur 30°C didapatkan daya sebesar 32,4 Watt dari 12 *thermoelectric* yang dipasang. Dengan penyerapan energi sebesar 0,4 persen. Dengan begitu, masih banyak potensi energi

yang masih bisa diserap untuk diubah menjadi energi listrik. Sehingga, dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa panas yang terbuang dari mesin yang dianggap tidak berguna dapat diubah menjadi energi listrik yang ramah lingkungan.

Kata Kunci : *daya, pendingin, penyerapan, temperature, thermoelectric*

UTILIZATION OF TEMPERATURE DIFFERENCE ON MAIN ENGINE COOLING SYSTEM AS ALTERNATIVE ENERGY FOR POWER PLANTS IN THE VESSEL

Nama : Teguh Julianto
NRP : 4212 100 038
Department : Marine Engineering
Advisor : Indra Ranu Kusuma, S.T., M.Sc.
Juniarko Prananda, S.T., M.T.

ABSTRACT

From 100 percent of the fuel that goes into main engine, only about 40 percent of which is converted into power. While 30 percent of the heat is discharged toward the cooling systems and the rest being exhaust gases. The wasted heat energy can be harnessed into electricity. The difference temperature between the hot water coming out of the main engine and sea water used as a coolant can be converted into electricity by using thermoelectric. The amount of the electric power generated depends on the magnitude of the temperature difference and the number of thermoelectric installed. The purpose of this research is to find the right method in order to utilize the heat energy that is wasted in the engine cooling system. The method used is to do a literature review and analysis of experiments using a prototype. Research results based on output of jacket water on main engine Wartsila 6L20 of 91°C which must be cooled with sea water temperature 30°C obtained power of 32.4 Watts of 12 thermoelectric installed. With the absorption of energy by 0.4 percent. With so many potential energy that can still be absorbed to be converted into electrical energy. So, from the study it can be concluded that heat is wasted from a machine that is not

considered useful can be changed into electrical energy which is environmentally friendly.

Keyword: absorption, cooling, temperature, thermoelectric, power

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Manfaat Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Pendahuluan Thermoelectric.....	5
2.2. Pengaruh Perbedaan Temperatur pada Daya yang Dihasilkan.....	7
2.3. Laju aliran massa fluida mempunyai efek positif terhadap daya yang dihasilkan.....	10
2.4. Efisiensi dari Bahan Thermoelectric.....	12
2.5. Aplikasi thermoelectric di Dunia Industri.....	15
2.6. Main Engine Cooling system.....	16
BAB III METODE PENELITIAN.....	21
3.1. Studi Literatur.....	22
3.2. Pengumpulan Data.....	22
3.3. Perencanaan Desain Sistem.....	25
3.4. Perancangan Alat.....	26
3.5. Pengujian dan Evaluasi.....	27
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1. Proses Pembuatan Alat.....	29
4.2. Percobaan dan Hasil Pengamatan.....	33
4.3. Analisa Data dan Pembahasan.....	37

4.3.1.	Analisa dan Pembahasan Pengaruh Perbedaan Temperatur	37
4.3.2.	Analisa dan Pembahasan Pengaruh Debit Air	42
4.3.3.	Perhitungan Energi yang Terbuang	45
4.3.4.	Perhitungan Energi yang Diserap.....	48
4.4.	Aplikasi pada Kapal.....	50
4.5.	Analisa Ekonomi.....	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		59
5.1.	Kesimpulan	59
5.2.	Saran.....	60
DAFTAR PUSTAKA.....		61
BIODATA PENULIS.....		1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Thermoelectric.....	5
Gambar 2. 2. Struktur Thermoelectric [19]	6
Gambar 2. 3. Struktur Pembangkit Daya Termoelektrik [5]	8
Gambar 2. 4. Skema ilustrasi efek Seebeck [19]	10
Gambar 2. 5. Skema ilustrasi efek Peltier	11
Gambar 2. 6. Thermoelectric skematik dengan arah laju aliran (a) searah (b) berlawanan arah [8]	12
Gambar 2. 7. ZT dari variasi bahan thermoelectric [17]	15
Gambar 2. 8. Efisiensi sebagai fungsi dari perbedaan temperature [18].....	16
Gambar 2. 9. Gambar aliran plat Heat Exchanger.....	19
Gambar 2. 10. Heat Transfer	20
Gambar 2. 11. Main Engine cooling System.....	21
Gambar 3. 1. Metode penelitian	23
Gambar 3. 2. TEC1-12706	26
Gambar 3. 3. Desain prototipe tampak samping	27
Gambar 3. 4. Susunan thermoelectric	28
Gambar 4. 1. Gambar pelat yang akan dipotong	31
Gambar 4. 2. Membending pelat	32
Gambar 4. 3. Pelat dilubangi sesuai dimensi termoelektrik	32
Gambar 4. 4. Pemasangan thermoelectric	33
Gambar 4. 5. Peletakkan pelat sudah berisi thermoelectric.....	33
Gambar 4. 6. Pemasangan Pipa	34
Gambar 4. 7. Rangkaian kabel	34
Gambar 4. 8. Prototipe	35
Gambar 4. 9. Prototipe dan bagian-bagiannya	35
Gambar 4. 10. Grafik Perbandingan Beda Temperatur dan Tegangan	40
Gambar 4. 11. Grafik Perbedaan Temperatur dengan Arus	41
Gambar 4. 12. Grafik Perbedaan Temperatur dengan Daya.....	42
Gambar 4. 13. Grafik perbandingan debit, daya, dan waktu pengisian	45
Gambar 4. 14. Kondisi jika air tidak penuh.....	46

Gambar 4. 15. Kondisi jika air penuh.....	46
Gambar 4. 16. Perbandingan Debit dan Waktu untuk Memperoleh Daya pada Prototipe	47
Gambar 4. 17. Perbandingan Debit dengan Energi yang Terbuang Tiap Satuan Waktu	50
Gambar 4. 18. Penempatan box konversi di kamar mesin	54
Gambar 4. 19. Modifikasi desain cooling system.....	55
Gambar 4. 20. Desain box konversi	56
Gambar 4. 21. Penempatan thermoelectric pada box	57
Gambar 4. 22. Performance curve generator	59

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1. Data Cooling Water System Wartsila 6L20 [2]	25
Tabel 3. 2. Performance specification TEC1-12706	26
Tabel 3. 3. Size Table TEC1-12706	26
Tabel 4. 1. Data Hasil Pengamatan 1	37
Tabel 4. 2. Data Hasil Pengamatan 2	39
Tabel 4. 3. Data percobaan	45
Tabel 4. 4. Fuel Consumption KH-C220	58
Tabel 4. 5. Biaya pembuatan box konversi	61

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan dan analisa data yang telah dilakukan, maka dalam penelitian ini dapat disimpulkan:

1. Air panas yang terbangun dari *main engine* yang terbangun menuju sistem pendingin sangat berpotensi untuk menghasilkan energi listrik. Hal itu sangat tergantung pada bagaimana desain dari pada alat dan penempatan *thermoelectric*. Desain yang tepat adalah dengan memberikan kontak langsung antara air panas atau dingin dengan *thermoelectric*. Sehingga temperatur air panas dari mesin tidak jauh berbeda dengan yang diserap *thermoelectric*.
2. Besarnya daya yang dihasilkan oleh prototype yang terpasang 12 keping *thermoelectric* adalah 40 watt. Dengan penyerapan energi pada kondisi operasional sebesar 0,4 persen. Dengan begitu, masih banyak potensi energi panas yang bisa diserap untuk diubah menjadi energi listrik.
3. Semakin besar perbedaan temperature, maka semakin besar pula daya yang dihasilkan. Laju aliran tidak berpengaruh besar terhadap daya yang dihasilkan. Melainkan berpengaruh pada waktu yang dibutuhkan untuk memperoleh dayanya. Semakin besar laju aliran, maka semakin cepat juga daya yang dihasilkan. Semakin besar laju aliran, maka akan banyak pula potensi energi yang bisa diserap untuk dikonversi menjadi energi listrik.

4. Dengan membuat box konversi seluas 1 m² yang dipasang 576 keping thermoelectric bisa menghasilkan daya sebesar 1.92 Kw. Dengan daya sebesar itu sudah bisa digunakan untuk lampu-lampu penerangan di kamar mesin.

5.2. Saran

Beberapa saran yang bisa diberikan setelah dilakukan penelitian ini antara lain:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut agar box konversi ini bisa menyerap 100 persen energi panas yang terbuang menuju sistem pendingin sehingga bisa menghasilkan daya yang lebih besar.
2. Perlu adanya analisa terkait resiko yang bisa ditimbulkan jika sistem pendingin kapal dipasang box konversi sebagaimana dalam penelitian ini.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Konsumsi energi pada kurun waktu 2000-2012 Meningkat dari 764 juta SBM (setara barel minyak) pada tahun 2000 menjadi 1.079 juta SBM pada tahun 2012 atau meningkat rata-rata 2,91 persen per tahun. Bahkan, diprediksi konsumsi energi di dunia akan meningkat hingga 37 persen di tahun 2035 [1].

Konsumsi energi cukup besar juga terjadi di dunia perkapalan. Pada kapal dibutuhkan sebuah main engine untuk menggerakkan kapal. Selain itu, kondisi kapal yang dinamis menuntut kapal untuk bisa menyediakan sumber energi listrik sendiri. Pada kapal sumber listrik di hasilkan oleh mesin *diesel generator*. Mesin *diesel generator* bekerja untuk memenuhi suplai listrik ke semua sistem kapal selama kapal beroperasi. Penggunaan bahan bakar minyak pun tak bisa dihindarkan sebagai penggerak mesin diesel tersebut. Dengan kondisi kapal yang beroperasi dalam waktu yang lama, maka konsumsi bahan bakar minyakpun begitu besar.

Sedangkan efisiensi thermal yang ada pada sebuah motor diesel pun secara umum masih berlangsung cukup rendah. Dari 100 persen bahan bakar yang masuk, hanya 40 persen saja yang berubah menjadi daya untuk menggerakkan kapal. Sementara 30 persen berubah menjadi gas buang (*exhaust*), dan 30 persen menuju pendingin (*coolant*) [2].

Di tengah isu kelangkaan BBM saat ini membuat harga BBM terus naik. Dengan naiknya harga BBM membuat semua orang merasa resah. Tidak terkecuali perusahaan industri perkapalan. Efisiensi merupakan salah satu langkah yang paling tepat sebagai pengurangan penggunaan BBM. Efisiensi energi adalah istilah umum yang mengacu pada penggunaan energi yang lebih sedikit untuk menghasilkan jumlah layanan atau output yang sama.

Manusia terus berupaya mencari sumber-sumber energi alternatif sebagai wujud kesadaran mereka akan penghematan energi. Energi baru dan terbarukan mempunyai peran yang sangat penting dalam memenuhi kebutuhan energi. Salah satu energi alternative yang layak di coba di perkapalan adalah konversi energi panas menjadi listrik dengan menggunakan termoelectrik.

Proses terjadinya energi panas pada *engine* ini dianggap sebagai kerugian. Karena dengan adanya energi panas tersebut, maka kerja yang dihasilkan *engine* menjadi lebih kecil. Hal itu pula yang menjadikan efisiensi *engine* menjadi lebih kecil. Energi panas yang tinggi yang dihasilkan oleh *engine* yang selama ini dianggap sebagai kerugian justru berpotensi besar menghasilkan listrik yang dapat menghemat kebutuhan listrik di kapal.

Air keluar dari *main engine* dengan suhu 91 Celcius. Sedangkan untuk bersirkulasi masuk kembali ke *main engine* dengan temperature sekitar 70-80⁰ Celcius sehingga dibutuhkan air laut yang bertemperatur sekitar 25-38⁰ Celcius untuk mendinginkannya. Sehingga air tersebut perlu didinginkan menggunakan *heat exchanger* pada sistem pendingin [3]. Dari 100 persen bahan bakar yang masuk ke *main engine*, sebanyak 15-30 persen berubah menjadi panas yang mengalir menuju sistem pendingin. Pada sistem pendingin tersebut terdapat perbedaan gradient suhu yang cukup signifikan. Air pendingin yang berasal dari *sea water* bekerja untuk mendinginkan air panas yang berasal dari *main engine*. Perbedaan gradient suhu (ΔT) pada *sistem pendingin* inilah sangat berpotensi untuk menghasilkan energi listrik [4].

Dengan melihat potensi dan permasalahan di atas, maka perlu dikembangkan sebuah teknologi baru yang dapat memanfaatkan perbedaan temperature pada sistem pendingin tersebut. Yakni sebuah pembangkit daya dengan menggunakan termoelektrik yang dapat mengkonversi perbedaan panas dan dingin menjadi listrik. Besarnya tegangan yang dihasilkan berbanding lurus dengan

besarnya energi panas yang diserap oleh komponen semi konduktor pada termolektrik tersebut. [4].

Agar hal ini dapat terwujud, maka diperlukan sebuah penelitian lebih lanjut tentang pembangkit energi listrik termolektrik dengan memanfaatkan panas yang terbuang menuju sistem pendingin *main engine*.

1.2. Perumusan Masalah

Dari uraian di atas maka permasalahan utama yang akan dibahas adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana desain sistem yang tepat untuk dapat diterapkan pada sistem pendingin *main engine*?
2. Berapa besar arus, tegangan, dan daya yang dihasilkan dari percobaan desain sistem tersebut?
3. Seberapa besar pengaruh perbedaan temperatur dan laju aliran (debit) dengan daya listrik yang dihasilkan?

1.3. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari pengerjaan Tugas Akhir ini adalah

1. Mengetahui sistem yang tepat untuk bisa membangkitkan energi listrik pada sistem pendingin *main engine*.
2. Mengetahui besarnya arus, tegangan, dan daya yang dihasilkan oleh sistem pendingin *main engine*
3. Mengetahui besarnya pengaruh suhu dan laju aliran (debit) untuk membangkitkan listrik pada pendingin *main engine*.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Percobaan dilakukan dengan membuat sebuah alat prototype untuk mensimulasikan sistem pendingin mesin kapal.

2. Menggunakan *thermoelectric* (elemen peltier) sebagai alat untuk mengkonversi energi panas menjadi listrik

1.5. Manfaat Penulisan

Manfaat dari penulisan Tugas Akhir ini adalah

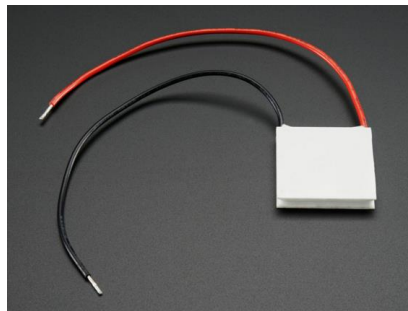
1. Dapat mengembangkan desain sistem energi baru terbarukan yang lebih efisien dan dapat memenuhi kebutuhan energy selama kapal beroperasi.
2. Mengurangi ketergantungan sumber energi tak terbarukan dalam menyuplai kebutuhan listrik di kapal.
3. Mengurangi energi panas yang terbuang dari *engine* dan memanfaatkannya menjadi energy listrik yang berguna.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pendahuluan Thermoelectric

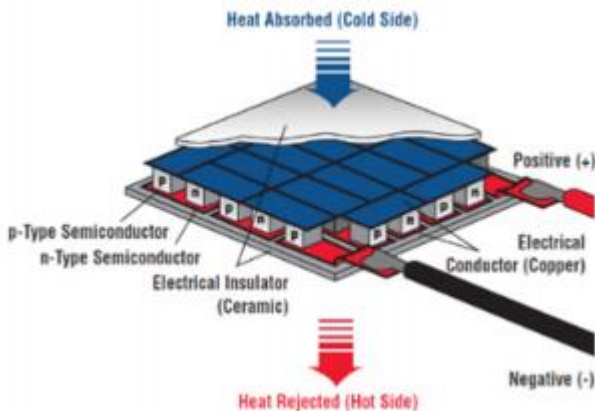
Fenomena termoelektrik pertama kali ditemukan oleh ilmuwan Jerman, Thomas Johann Seebeck pada tahun 1821. Ia menghubungkan tembaga dan besi dalam sebuah rangkaian, di mana antara kedua logam tersebut lalu diletakkan jarum kompas. Kemudian jarum kompas tersebut bergerak, ketika salah satu sisi logam tersebut dipanaskan dan sisi logam yang lainnya didinginkan. Bergeraknya jarum kompas tersebut oleh karena perbedaan temperatur yang terjadi, menyebabkan adanya aliran listrik pada logam dan menimbulkan medan magnet. Medan magnet inilah yang menggerakkan jarum kompas. Fenomena tersebut kemudian dikenal dengan efek *Seebeck*, yang kemudian digunakan sebagai prinsip pengukuran temperatur dengan termokopel. Arus listrik dialirkan pada dua buah logam yang disambungkan dalam sebuah rangkaian, maka terjadilah beda temperatur di kedua sambungan tersebut.



Gambar 2. 1. Thermoelectric
Sumber: www.adafruit.com

Sebaliknya, termoelektrik juga dapat menghasilkan panas maupun dingin. Bentuknya tipis, berukuran 4 x 4 cm dengan tebal

hanya 4 mm. Thermoelektrik umumnya dibungkus oleh keramik tipis yang berisikan batang-batang *bismuth telluride* di dalamnya. Ketika dialiri tegangan DC 12 volt salah satu sisi akan menjadi panas, sementara sisi lainnya akan dingin. Untuk bisa bekerja optimal thermoelektrik ini harus di aliri arus 5-7 ampere. Cara kerja thermoelektrik, dengan membuat panas disatu sisi, kemudian disisi lain, panas akan terserap hingga terasa dingin. Beda suhu antara sisi panas dan dingin bisa mencapai 65 °C. Kode yang tercetak pada thermoelektrik ini, ada angka 12706, yang artinya tegangan masukan 12 volt, arus optimal yang diminta 6 ampere [6].



Gambar 2. 2. Struktur Thermoelectric [19]

Kerja pendingin thermoelektrikpun tidak jauh berbeda. Jika material termoelektrik dialiri listrik, panas yang ada di sekitarnya akan terserap. Dengan demikian, untuk mendinginkan udara, tidak diperlukan kompresor pendingin seperti halnya di mesin-mesin pendingin konvensional. Seperti kita ketahui, dari 100 persen bahan bakar yang dipakai, hanya sekitar 30 persen yang dipergunakan untuk menggerakkan mobil. Sebagian besar energi terbuang dalam bentuk panas di radiator dan gas buangan. Di antara kedua panas tersebut, gas buangan memiliki perbedaan panas lebih tinggi, yakni sekitar 300-700 derajat Celsius sehingga

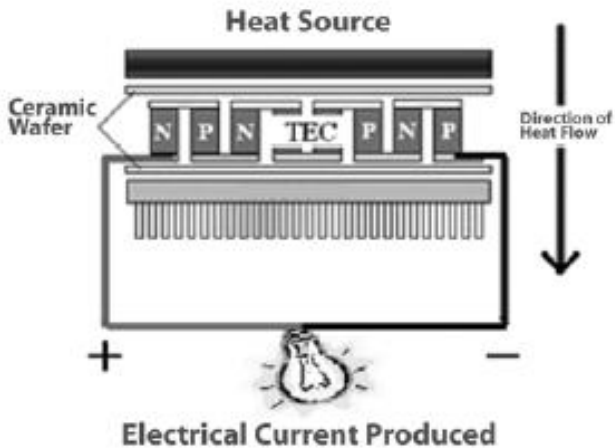
lebih baik untuk dikonversikan menjadi penggerak mobil. Dengan memanfaatkan gas buangan ini, mobil-mobil produksi Nissan mampu menghemat bahan bakar 10 %. Contoh menarik lainnya adalah yang dilakukan oleh Seiko Co Ltd. Seiko memasarkan jam termoelektrik sejak tahun 1998 dengan nama Seiko Thermic. Jam tangan ini memanfaatkan perbedaan suhu tubuh dan suhu sekitarnya. Bahan yang digunakan, *bismut-tellurium*, mampu menghasilkan listrik sebesar $0,2 \text{ mV/}^{\circ}\text{C}$. Jika 1.000 buah material tersebut dipasang seri, tentu akan menghasilkan tegangan listrik 0,2 V dalam setiap perbedaan 1°C . Untuk itu, Seiko membuat unit pembangkit listrik, terdiri atas 10 buah modul termoelektrik yang masing-masing berisi 100 kawat mikro. Dari setiap unit inilah dihasilkan energi listrik sebesar 0,15 V untuk mengisi baterai litium pada jam tersebut [7].

2.2. Pengaruh Perbedaan Temperatur pada Daya yang Dihasilkan

Daya yang dihasilkan oleh termoelektrik sangat bergantung pada perbedaan temperatur yang didapatkan. Karena panas buang mesin bersifat fluktuatif, nilai daya yang dihasilkan juga dapat berubah-ubah. Namun, selama mesin dinyalakan nilai dayanya akan terus ada. Hal penting lainnya adalah bahwa daya keluaran adalah hasil perbedaan temperatur ke dua sisi modul termoelektrik. Artinya bukan berarti bagaimana mendapatkan jumlah kalornya, akan tetapi seberapa besar perbedaan temperatur yang didapatkan. Semua ini berhubungan dengan efisiensi dari termoelektrik itu sendiri. Jika perbedaan temperaturnya semakin besar, maka daya keluarannya juga makin besar, hingga titik maksimum efisiensi peltier tersebut. [8]

Material logam (biasanya semi konduktor) yang tersambung berada di lingkungan dengan dua temperature berbeda, maka di material tersebut akan mengalir arus listrik atau gaya gerak listrik [13]. Konsep ini apabila diterapkan pada kendaraan bermotor dengan gas buang pada mesin motor bakar berkisar antara 200-

300⁰C dan temperatur lingkungan bekisar antara 30-35⁰C, akan menghasilkan gaya gerak listrik yang kemudian dapat digunakan untuk menggerakan motor listrik atau disimpan di dalam baterai [14].



Gambar 2. 3. Struktur Pembangkit Daya Termoelektrik [5]

Gambar 2.3 menunjukkan struktur TEG yang terdiri dari suatu susunan elemen tipe-n (material dengan kelebihan elektron) dan tipe-p (material dengan kekurangan elektron). Panas masuk pada satu sisi dan dibuang dari sisi yang lainnya, menghasilkan suatu tegangan yang melewati sambuangan termoelektrik. Besarnya tegangan yang dihasilkan sebanding dengan gradien temperature [13].

Perbedaan temperatur yang makin besar antara sisi panas dan sisi dingin modul akan menghasilkan tegangan dan arus yang lebih besar. Modul-modul termoelektrik dapat juga disambungkan bersama baik secara seri ataupun paralel seperti baterai untuk menghasilkan tegangan atau arus listrik. Tiap modul mampu menghasilkan tegangan rata-rata 1-2V DC dan bahkan sampai 5V

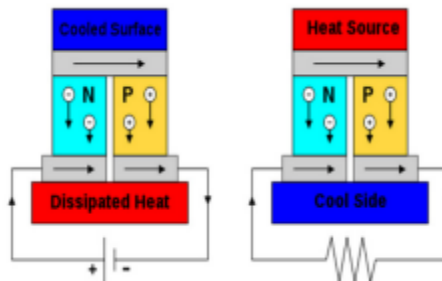
DC bergantung pada variasi delta temperaturnya, tetapi umumnya satu modul termoelektrik menghasilkan 1,5-2V DC [14].

Nilai efisiensi modul termoelektrik dapat ditingkatkan dengan cara panas didisipasi diatas sisi dingin modul, seperti penggunaan *heat sink*, *fan*, *water jacket* atau hanya dengan memberikan temperatur lingkungan diatas sisi dingin modul untuk menjaga perbedaan temperatur dengan sisi panasnya.[4]

Prinsip kerja daripada thermoelectric dipengaruhi oleh efek seebek dan peltier.

a. Efek seebek

Jika 2 buah logam yang berbeda disambungkan salah satu ujungnya, kemudian diberikan suhu yang berbeda pada sambungan, maka terjadi perbedaan tegangan pada ujung yang satu dengan ujung yang lain. Tegangan yang dihasilkan ini sebanding dengan perbedaan temperatur diantara dua junction. Semakin besar perbedaan temperatur, semakin besar tegangan diantara junction.



Gambar 2. 4. Skema ilustrasi efek Seebeck [19]

Dari fenomena ini, kita dapat menentukan koefisien Seebeck, yaitu:

$$\Delta V = \int_{T_1}^{T_2} S_{AB} dT$$

Di mana,

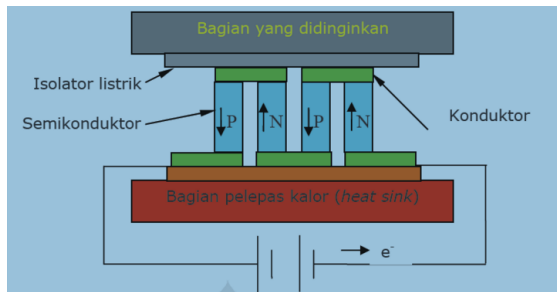
$$S_{AB} = \text{efek seebeck } (V/T)$$

$$\Delta V = \text{beda potensial (Volt)}$$

$$dT = \text{bedatemperature (K)}$$

b. Efek Peltier

Penemuan Seebeck memberikan inspirasi pada Jean Charles Peltier untuk melihat kebalikan dari fenomena tersebut. Dia mengalirkan listrik pada dua buah logam yang direkatkan dalam sebuah rangkaian. Ketika arus listrik dialirkan, terjadi penyerapan panas pada sambungan kedua logam tersebut dan pelepasan panas pada sambungan yang lainnya. Pelepasan dan penyerapan panas ini saling berbalik begitu arah arus dibalik. Penemuan yang terjadi pada tahun 1934 ini kemudian dikenal dengan efek Peltier.



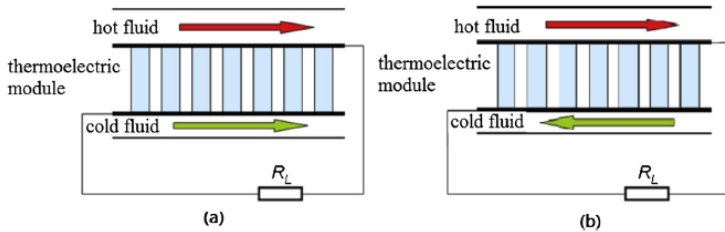
Gambar 2. 5. Skema ilustrasi efek Peltier

sumber: efekpeltier.blogspot.com

2.3. Laju aliran massa fluida mempunyai efek positif terhadap daya yang dihasilkan

Panas dari mesin dapat berfluktuasi selama mesin beroperasi; dengan demikian, pengaruh fluktuasi ini berpengaruh pada kinerja thermoelectric secara optimal sehingga bisa memaksimalkan output total daya melalui bantuan Fortran. [8] Daerah modul ini secara signifikan dipengaruhi oleh laju aliran massa: awalnya meningkat dengan cepat dan kemudian secara bertahap tingkat off

pada tingkat aliran tinggi tetapi hanya lemah dipengaruhi oleh suhu gas. Ini ditentukan oleh karakteristik distribusi suhu internal dari modul TEG. Memilih daerah modul optimal yang sesuai untuk laju aliran penting untuk merancang sebuah sistem TEG dengan tingkat kinerja yang tinggi. [8]



Gambar 2. 6. Thermoelectric skematik dengan arah laju aliran (a) searah (b) berlawanan arah [8]

M.F. Rameli dkk [9] mengembangkan dan menguji modul *thermoelectric* yang dikombinasi dengan *heat pipe* agar didapatkan daya yang maksimal. Pengujian difokuskan pada variasi laju aliran massa fluida yang dalam penelitian ini menggunakan *fan*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa meningkatnya laju aliran massa fluida memberikan effect positif terhadap daya yang dihasilkan dari pembangkit thermoelectric [9].

Hal itu sesuai dengan rumus sebagai berikut

$$P_{\text{elecTEG}} = \mu_{\text{TEG}} Q_{\text{max}}$$

Dimana Q_{max} merupakan laju perpindaahan panas yang melalui daerah bagian dingin daripada thermoelectric. Efisiensi konversi daya dapat dihitung dengan menggunakan rasio daya listrik yang dihasilkan oleh thermoelectric dan panas yang diterima modul *thermoelectric* (Q_H) [9]:

$$\mu_{\text{TEG}} = \frac{P_{\text{elecTEG}}}{Q_H} = \frac{P_{\text{elecTEG}}}{Q_c + P_{\text{elecTEG}}}$$

Q_c merupakan panas yang hilang dari sisi dingin thermoelectric. Dapat dirumuskan sebagai:

$$Q_c = \dot{m} C_p \Delta T$$

2.4. Efisiensi dari Bahan Thermoelectric

Bahan thermoelectric yang baik seharusnya mempunyai karakteristik :

- Konduktivitas listrik yang tinggi untuk meminimalkan Joule heating (kenaikan temperatur dari hambatan ke arus listrik yang mengalir melaluinya).
- Koefisien Seebeck yang besar untuk perubahan maksimal dari panas ke daya listrik atau daya listrik ke kinerja pendinginan.
- Konduktivitas panas yang rendah untuk mencegah konduksi panas melalui bahan.

Ketiga sifat ini biasanya digabungkan menjadi satu parameter yang mengukur keseluruhan kinerja dari perangkat thermoelectric yaitu “figure – of – merit” atau ZT . Figure – of – merit dari thermoelectric didefinisikan sebagai :

$$Z = \alpha^2 \frac{\sigma}{\lambda}$$

Di mana

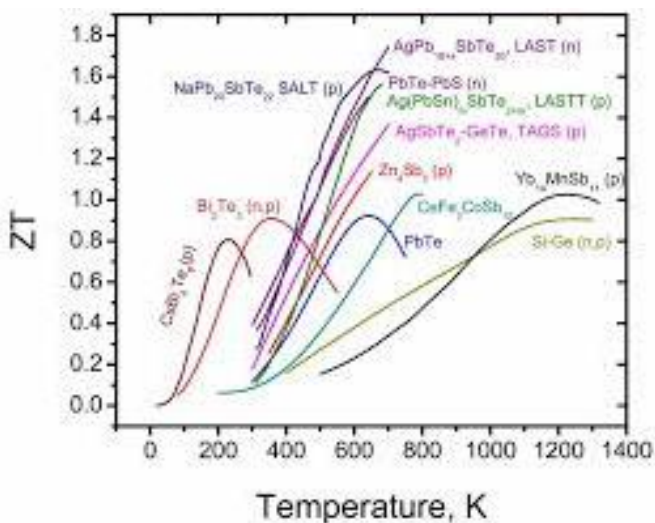
α : koefisien Seebeck bahan (V/K)

σ : konduktivitas listrik bahan (A/Vm)

λ : konduktivitas panas bahan (W/mK)

Karena Z mempunyai satuan per derajat temperatur, lebih berguna dimensi *figure – of – merit* dapat didefinisikan sebagai Z^*T , dimana T adalah rata – rata temperatur kerja. Parameter penting ini menentukan besarnya efisiensi perubahan daya maksimal atau koefisiensi pendinginan maksimal dari kinerja untuk perangkat *thermoelectric*. [18]

Penelitian awal bahan *thermoelectric* pada tahun 1950 – an dan 1960 – an menghasilkan *Bismuth Telluride* (Bi_2Te_3), *Lead Telluride* (PbTe) dan paduan *Silicon – Germanium* (SiGe) sebagai bahan dengan *figure – of – merit* terbaik dalam tiga rentang temperatur yang agak berbeda. Bi_2Te_3 dan campurannya telah digunakan secara ekstensif dalam aplikasi *thermoelectric cooling* dan beberapa aplikasi pembangkit listrik rendah dan mempunyai rentang temperatur yang berguna dari 180 K sampai 450 K. Bahan PbTe dan SiGe sudah digunakan secara ekstensif dalam aplikasi pembangkit listrik temperatur yang lebih tinggi, khususnya pembangkit listrik pesawat luar angkasa dan mempunyai rentang temperatur yang berguna masing – masing dari 500 K sampai 900 K dan 800 K sampai 1300 K [17].



Gambar 2. 7. ZT dari variasi bahan thermoelectric [17]

Penting untuk diketahui bahwa semua perangkat *thermoelectric* sangat tergantung pada temperatur, tidak hanya gradien temperatur kerja, tetapi juga nilai – nilai temperatur absolut. Perangkat *thermoelectric* dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik

arus searah (DC) ketika terjadi perbedaan temperatur. Namun, saat ini bahan *thermoelectric* yang tersedia mempunyai $ZT < 1$ dan efisiensi perangkat dalam menghasilkan energi listrik jarang melebihi 5 %. Kinerja ini membatasi *thermoelectric* generator untuk aplikasi dimana persyaratannya untuk operasi jarak jauh, tahan uji, tidak ada bagian yang bergerak, dan tidak menimbulkan suara telah melebihi aspek yang lebih buruk dari biaya mahal dan efisiensi konversi yang rendah. Hal ini cenderung untuk membatasi aplikasi teknologi *thermoelectric* untuk sistem pendingin kecil, daya rendah, atau pendingin khusus atau aplikasi daya. Sistem ini umumnya membutuhkan daya atau aliran energi panas yang kecil.

Efisiensi maksimal dari perangkat *thermoelectric* dalam pembangkit listrik ditentukan oleh hubungan berikut :

$$\eta_{\max} = \left[\frac{T_h - T_c}{T_h} \right] \left[\frac{\sqrt{1 + Z^* \bar{T}} - 1}{\sqrt{1 + Z^* \bar{T}} + 1} \right]$$

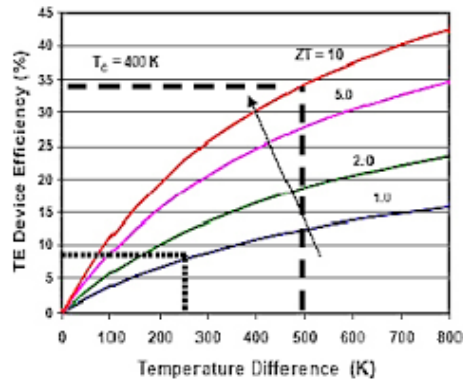
Di mana

Z^* : nilai optimal Z dari pasangan tipe – p atau tipe – n di perangkat *thermoelectric*

T_h dan T_c : temperatur sisi panas dan sisi dingin

\bar{T} : rata – rata T_h dan T_c

Hubungan ini ditunjukkan pada Gambar 2.4 untuk memberikan gambaran tentang besarnya efisiensi dalam hubungan dengan variasi ZT dan perbedaan temperatur. Bagian pertama dari Persamaan menunjukkan bahwa efisiensi maksimal *thermoelectric* dihubungkan dengan T_h dan T_c , sama seperti efisiensi *carnot* [17].



Gambar 2. 8. Efisiensi sebagai fungsi dari perbedaan temperature [18]

2.5. Aplikasi thermoelectric di Dunia Industri

Saat ini, aplikasi TEG telah banyak diterapkan di berbagai bidang, sebuah perusahaan Amerika (Hi-Z Technology, Inc.) telah berhasil mengembangkan delapan modul peltier (model HZ-14) yang digunakan pada glycol generator dan dapat menghasilkan daya sebesar 60 Watt dengan temperatur ambien $15\text{-}30^{\circ}\text{C}$ dan temperatur operasi berkisar $175\text{-}200^{\circ}\text{C}$ [9]. Besarnya daya yang dihasilkan dikarenakan modul yang digunakan tersebut adalah khusus pada TEG, bukan TEC dan perbedaannya mencapai 170°C . Perkembangan teknologi termoelektrik dari Hi-Z mengalami kemajuan yang pesat karena saat ini teknologi Hi-Z mampu mencapai nilai ZT (figure of merit) 3,2 walaupun diproduksi masih dalam skala kecil [10].

Eakburanawat dkk [16] mengembangkan battery charger berbasis termoelektrik. Sistem yang dikembangkan menghasilkan daya maksimum sebesar 7,99 Watt. Penelitian tersebut menggunakan sumber kalor panas buang dari tungku api dan juga dinding tungku. Pembangkit termoelektrik ini juga telah dikembangkan untuk diaplikasikan pada laptop. Pembangkit tersebut menggunakan panas yang dihasilkan dari gas butan [16]. Daya yang dihasilkan

adalah sekitar 13,35 Watt. Nuwayhid dkk [11] mengembangkan dan menguji pembangkit termoelektrik pada tungku api tradisional di Libanon dengan menggunakan konveksi bebas pada sisi termoelektrik yang menghasilkan daya sebesar 4,2 Watt.

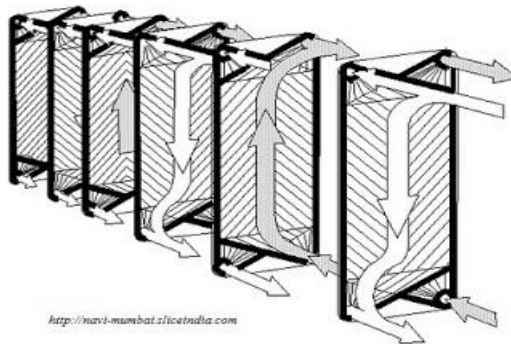
Dengan memanfaatkan gas buangan ini, mobil-mobil produksi Nissan mampu menghemat bahan bakar 10 %. Contoh menarik lainnya adalah yang dilakukan oleh Seiko Co Ltd. Seiko memasarkan jam termoelektrik sejak tahun 1998 dengan nama Seiko Thermic. Jam tangan ini memanfaatkan perbedaan suhu tubuh dan suhu sekitarnya. Bahan yang digunakan, *bismut-tellurium*, mampu menghasilkan listrik sebesar 0,2 mV/ °C. Jika 1.000 buah material tersebut dipasang seri, tentu akan menghasilkan tegangan listrik 0,2 V dalam setiap perbedaan 1°C. Untuk itu, Seiko membuat unit pembangkit listrik, terdiri atas 10 buah modul termoelektrik yang masing-masing berisi 100 kawat mikro. Dari setiap unit inilah dihasilkan energi listrik sebesar 0,15 V untuk mengisi baterai litium pada jam tersebut [7]. Walaupun pembangkit listrik thermoelectric hanya berkapasitas mikro, namun pemakaian yang maksimal dalam waktu yang panjang dapat membantu menghemat penggunaan listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik yang berkapasitas makro. Pembangkit berkapasitas makro seharusnya hanya digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik berdaya besar saja. Sedangkan berdaya listrik berdaya kecil, seperti penerangan lampu, dapat memandatkan pembangkit listrik dari thermoelectric. Daya yang dihasilkan oleh thermoelectric ini sangat dipengaruhi oleh perbedaan temperatur antara sisi dingin dan sisi panas thermoelectric. Semakin besar perbedaan temperaturnya, maka daya yang dihasilkan juga semakin besar. Selain itu, laju aliran massa yang mengalir pada thermoelectric memberikan dampak yang positif terhadap daya yang dihasilkan.

2.6. Main Engine Cooling system

Merupakan sistem yang terdiri dari beragam komponen untuk melakukan fungsi sebagai pendingin dari mesin, baik mesin induk

maupun mesin bantu sehingga sistem tersebut sukses berjalan kontinu sesuai desain yang diinginkan. Selain sebagai pendingin engine, cooling system ini juga untuk mendinginkan LO, scavage air, dan jacket water.

Pada umumnya, pendingin di mesin kapal menggunakan *heat exchanger*. Merupakan alat yang digunakan untuk memindahkan panas dari sistem ke sistem lain tanpa perpindahan massa dan bisa berfungsi sebagai pemanas maupun sebagai pendingin. Biasanya, medium pemanas dipakai adalah air yang dipanaskan sebagai fluida panas dan air biasa sebagai air pendingin (*cooling water*). Penukar panas dirancang sebisa mungkin agar perpindahan panas antar fluida dapat berlangsung secara efisien. Pertukaran panas terjadi karena adanya kontak, baik antara fluida terdapat dinding yang memisahkannya maupun keduanya bercampur langsung (*direct contact*).



Gambar 2. 9. Gambar aliran plat Heat Exchanger

Sumber : *Handbook mata kuliah Engine Cooling Sistem ITS*

Perpindahan panas konvektif stabil pada heat exchanger secara matematis mengikuti persamaan berikut

$$Q = h \times A \times (T_1 - T_2)$$

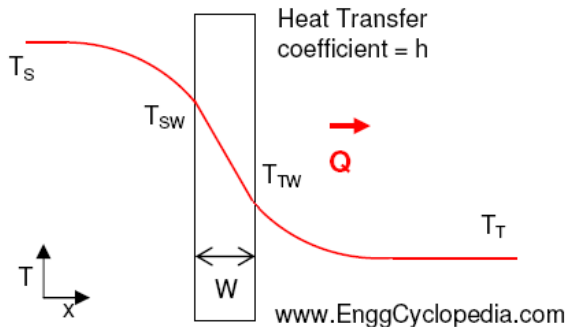
di mana Q: laju perpindahan panas dalam Joule / hr

A: Efektif daerah perpindahan panas dari permukaan padat di m^2

T_1 & T_2 : suhu steady state tubuh padat dan cairan masing-masing di $^{\circ}C$

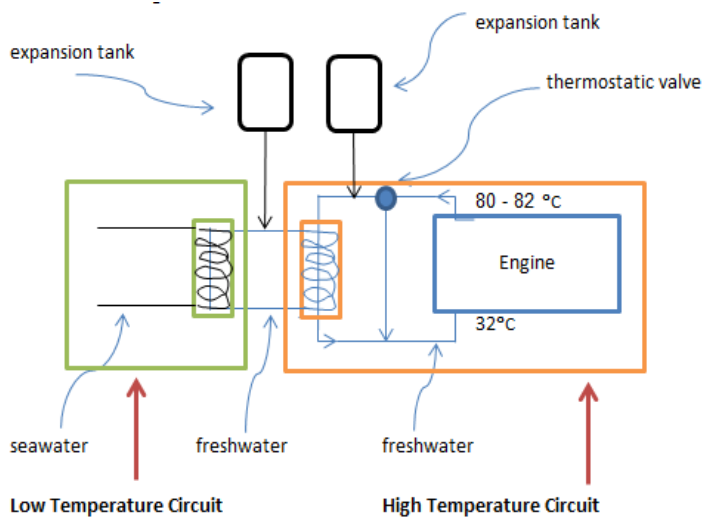
h : koefisien perpindahan panas di $Joule / (^{\circ}C \times m^2)$

Untuk peralatan perpindahan panas, terpisah 'koefisien perpindahan panas' (h) dapat didefinisikan untuk media panas dan dingin. Koefisien ini dapat digunakan untuk menggambarkan perpindahan panas pada setiap sisi penukar panas. Sehingga sebuah semua koefisien perpindahan panas' (U) dapat menggambarkan perpindahan panas keseluruhan terjadi di heat exchanger.



Gambar 2. 10. Heat Transfer
Sumber: Enggcyclopedia.com

Air panas yang keluar dari main engine dengan suhu $80-90^{\circ}C$ akan didinginkan menggunakan heat exchanger sebelum air tersebut kembali disirkulasikan menuju engine. Pendinginan tersebut dilakukan hingga suhu sekitar $80^{\circ}C$ atau tergantung pada spesifikasi engine yang digunakan. Proses pendinginan pada heat exchanger menggunakan media air (air laut) guna mempercepat perubahan suhunya. Sehingga akan terjadi perbedaan temperatur yang cukup signifikan saat proses pendinginan di heat exchanger. Perbedaan temperatur tersebut sangat berpotensi untuk dimanfaatkan menjadi energi listrik.



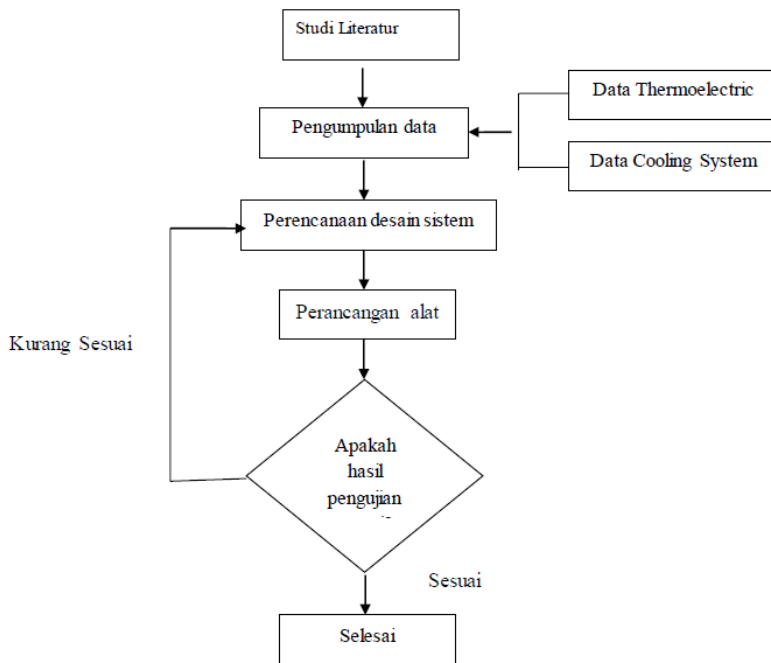
Gambar 2. 11. Main Engine cooling System

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian merupakan sebuah kerangka dasar yang digunakan sebagai acuan dalam pelaksanaan penelitian. Kerangka ini berisi tahapan-tahapan yang dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan pada penelitian ini. Penyusunan metodologi ini dimaksud untuk mencapai tujuan tugas akhir yang telah disusun dan ditetapkan sebagaimana terlihat pada diagram alir berikut:



Gambar 3. 1. Metode penelitian

Diagram alir tersebut dapat dijelaskan dalam uraian berikut:

3.1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mencari referensi teori-teori yang dapat digunakan sebagai dasar untuk merancang pembangkit daya listrik berbasis *thermoelectric* dengan memanfaatkan perbedaan suhu pada pendingin *main engine*. Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan referensi-referensi berkaitan dengan *thermoelectric*. Baik melalui buku, jurnal, artikel, maupun internet.

3.2. Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan dalam pengerjaan tugas akhir ini antara lain:

- Data sistem pendingin *engine* kapal. Data dititikberatkan pada temperatur air yang keluar dari *engine* dan temperatur air laut sebagai pendingin.

Penelitian ini akan menggunakan simulasi dari sistem pendingin berdasarkan *project guide engine* Wärtsilä 20 6L20 yang berdaya 1200 KW. Berikut merupakan data *cooling system* dari mesin mesin Wärtsilä 20 6L20

Tabel 3. 1. Data Cooling Water System Wartsila 6L20 [2]

Wärtsilä 6L20		ME IMO Tier 2	AE/DE IMO Tier 2	AE/DE IMO Tier 2
Cylinder output	kW	200	185	200
Engine speed	RPM	1000	900	1000
Cooling water system				
High temperature cooling water system				
Pressure at engine, after pump, nom. (PT401)	kPa	200 + static	200 + static	200 + static
Pressure at engine, after pump, max. (PT401)	kPa	350	500	500
Temperature before cylinder, approx. (TE401)	°C	83	83	83
Temperature after engine, nom.	°C	91	91	91

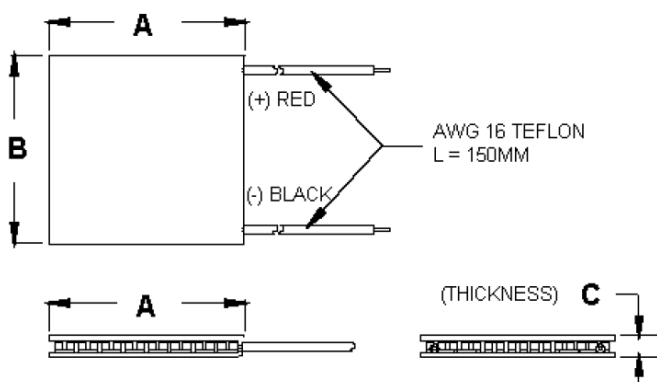
Capacity of engine driven pump, nom.	m ³ /h	30	29	30
Pressure drop over engine, total	kPa	90	90	90
Pressure drop in external system, max.	kPa	120	120	120
Water volume in engine	m ³	0.12	0.12	0.12
Pressure from expansion tank	kPa	70...150	70...150	70...150
Low temperature cooling water system				
Pressure at engine, after pump, nom. (PT451)	kPa	200 + static	200 + static	200 + static
Pressure at engine, after pump, max. (PT451)	kPa	350	500	500
Temperature before engine, min...max	°C	25...38	25...38	25...38
Capacity of engine driven pump, nom.	m ³ /h	36	34	36
Pressure drop over charge air cooler	kPa	30	30	30
Pressure drop over oil cooler	kPa	30	30	30
Pressure drop in external system, max.	kPa	120	120	120
Pressure from expansion tank	kPa	70...150	70...150	70...150

Berdasarkan rabel tersebut, dapat diketahui bahwa temperatur air yang keluar dari *engine* adalah 91 °C. Sedangkan temperatur air yang akan bersirkulasi kembali ke engine harus berkisar antara 25 °C hingga 38 °C. Artinya, terdapat perbedaan suhu (ΔT) yang signifikan antara air panas (dari *engine*) dan air dingin yang berasal dari air laut. Dengan demikian, ΔT yang bisa dimanfaatkan untuk dijadikan energi listrik berkisar antara 53-66 °C.

- b. Spesifikasi *thermoelectric* yang digunakan untuk mengonversi perbedaan temperatur menjadi energi listrik. Dalam penelitian ini menggunakan thermoelectric cooler (TEC1-12706) dengan performance specifications adalah sebagai berikut

Tabel 3. 2. Performance specification TEC1-12706

Hot Side Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	25 $^{\circ}\text{C}$	50 $^{\circ}\text{C}$
Qmax (Watts)	50	57
Delta Tmax ($^{\circ}\text{C}$)	66	75
I _{max} (Amps)	6.4	6.4
V _{max} (Volts)	14.4	16.4
Module Resistance (Ohms)	1.98	2.30



Gambar 3. 2. TEC1-12706

Tabel 3. 3. Size Table TEC1-12706

A	B	C
40	40	3.9

Ceramic Material: Alumina (Al_2O_3)

Solder Construction: 138°C, Bismuth Tin (BiSn)

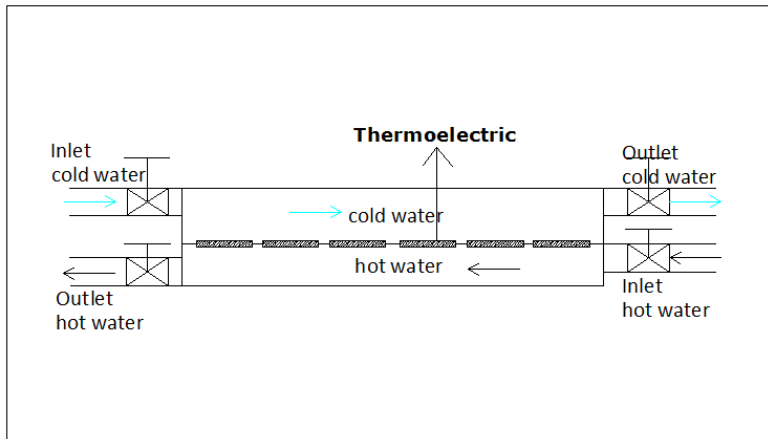
Max. Operating Temperature: 138 °C

Life expectancy: 200,000 hours

Failure rate based on long time testings: 0.2%.

3.3. Perencanaan Desain Sistem

Pembuatan desain meliputi kegiatan perancangan pembangkit listrik berbasis *thermoelectric*. Desain dititikberatkan pada penentuan sistem pendinginan dan pemanas agar didapatkan perbedaan temperatur semaksimal mungkin. Berikut merupakan desain prototype sistem pembangkit listrik dengan memanfaatkan sistem pendingin di kapal:



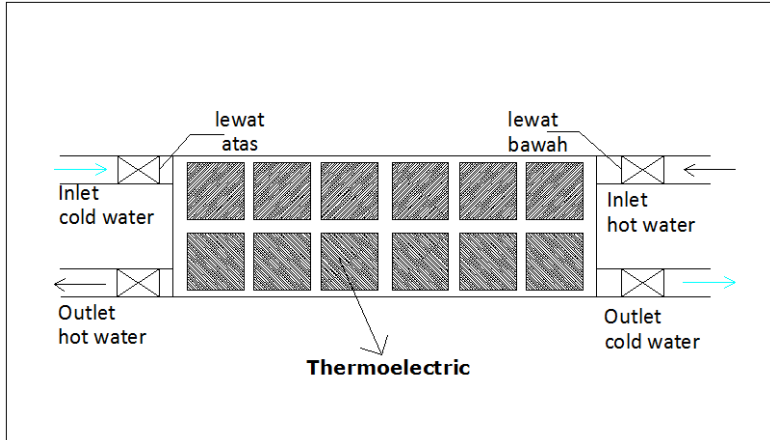
Gambar 3. 3. Desain prototype tampak samping

Gambar di atas merupakan gambar desain prototype terlihat dari samping. Air panas dengan temperature tertentu akan masuk ke dalam prototype bagian bawah. Dengan membuka *hot water inlet*, maka air akan bisa memenuhi seisi prototype hingga menyentuh *thermoelectric*.

Sementara air dingin akan masuk melalui *cold water inlet* menuju prototype bagian atas yang digunakan untuk

menyimpan air dingin. Air dingin tersebut kemudian akan bergesekan langsung dengan thermoelectric.

Sementara desain dan pemasangan thermoelectric di bagian dalam prototype dapat dilihat dari gambar berikut:



Gambar 3. 4. Susunan thermoelectric

3.4. Perancangan Alat

Dalam perancangan ini, digunakan dua sistem, yang pertama adalah sistem pendinginan dengan menggunakan media air untuk menghasilkan gradient temperature yang maksimum dan sistem pembangkit listrik menggunakan *thermoelectric* yang dapat menkonversi gradient temperatur menjadi energi listrik.

Perancangan disesuaikan dengan desain sistem yang telah dibuat sebelumnya. Peralatan yang dibutuhkan dapat dibagi menjadi beberapa komponen agar dapat mempermudah dalam pelaksanaan percobaan. Peralatan tersebut antara lain:

1. Modul *Thermoelectric* (Elemen peltier)

Elemen peltier berfungsi untuk mengkonversi perbedaan temperature menjadi energi listrik. Spesifikasi elemen peltier sesuai dengan table 2.

2. Electric Heater
Untuk memanaskan air hingga suhu yang diinginkan
3. Kotak penyimpanan air panas dan dingin
Kotak ini terbuat dari aluminium yang digunakan untuk menyimpan air panas maupun air dingin yang nantinya akan dikonversi menjadi energi listrik.
4. Pompa
Pompa berfungsi untuk mensirkulasikan air setelah melewati prototipe.
5. Termometer
Untuk mengetahui temperatur air panas maupun dingin.
6. Multitester
Untuk mengukur arus, tegangan, dan hambatan saat percobaan berlangsung.
Semua peralatan tersebut digabung menjadi satu sehingga didapat sebuah prototype pembangkit energi listrik dengan memanfaatkan pendingin main engine

3.5. Pengujian dan Evaluasi

Pengujian ini dimaksudkan untuk memastikan bahwa kinerja alat yang telah dibuat dapat berfungsi sesuai dengan yang diharapkan. Dalam tahap ini dilakukan untuk menentukan keberhasilan daya listrik yang dihasilkan oleh alat yang telah dirancang. Jika hasil pengujian sesuai dengan yang diharapkan, maka penelitian telah berhasil. Namun jika tidak sesuai maka harus diidentifikasi sistemnya kembali.

3.5.1. Variabel Penelitian

Variabel Penelitian pada dasarnya adalah segala sesuatu yang berbentuk apa saja yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari sehingga diperoleh informasi tentang hal tersebut, kemudian

ditarik kesimpulannya. Pada penelitian ini, telah ditentukan tiga variable, antara lain

- a. Variabel Bebas
 - Perbedaan temperature (ΔT)
 - Debit (Q)
- b. Variabel Terikat
 - Jumlah thermoelectric (12 buah)
- c. Variabel Terkontrol
 - Tegangan (V)
 - Arus (I)

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Proses Pembuatan Alat

Dalam Tugas Akhir ini dilakukan penelitian terhadap pemanfaatan perbedaan temperatur pada *main engine cooling system* dengan menggunakan termoelectrik sebagai alat untuk mengonversikannya menjadi energi listrik yang berguna. Untuk menyelesaikannya, maka dibuat sebuah prototipe pembangkit energi listrik dengan air panas yang disimulasikan sebagai air buangan dari mesin kapal dan air tawar (dingin) sebagai pendingin di kapal.

Langkah-langkah pembuatan prototipe sebagai berikut:

1. Menyiapkan sebuah pelat aluminium sebagai bahan utama pembuatan prototipe.
2. Menggambar bagian-bagian pelat yang akan dipotong sesuai desain pada gambar 3.3.



Gambar 4. 1. Gambar pelat yang akan dipotong

3. Memotong pelat sesuai yang digambar pada langkah nomor 2.
4. Mem-*bending* (melengkungkan) pelat sesuai desain.



Gambar 4. 2. Membending pelat

5. Melubangi pelat bagian tengah sesuai dengan dimensi thermoelectric (40 mm x 40 mm) sejumlah termoelektrik yang digunakan (12 elemen). Pelat yang dilubangi tersebut akan digunakan sebagai tempat untuk meletakkan termoelektrik sehingga akan berkontak langsung dengan air panas maupun air dingin.



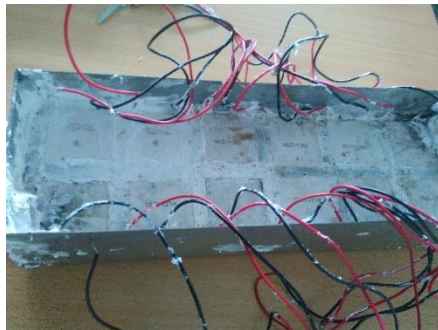
Gambar 4. 3. Pelat yang dilubangi sesuai dimensi termoelektrik

6. Memasang termoelektrik pada bagian yang dilubangi tersebut. Dilakukan pengeleman dan pengedepan agar air tidak bocor di sela-sela termoelektrik.



Gambar 4. 4. Pemasangan thermoelectric

7. Setelah itu, pelat tersebut kemudian diletakkan pada kotak. Pelat diposisikan diantara air panas dan air dingin yang nanti dialirkan ke kotak tersebut.



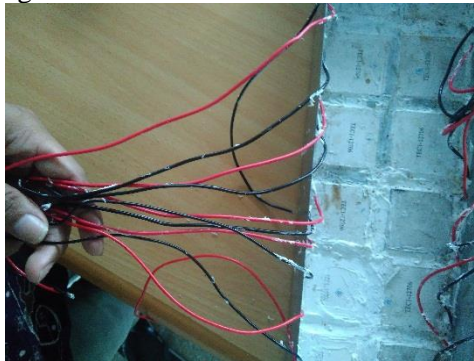
Gambar 4. 5. Peletakkan pelat yang sudah berisi thermoelectric

8. Setelah posisinya sesuai, menutup bagian-bagian yang yang tidak digunakan untuk mengalirkan air. Memasang pipa *inlet* dan *outlet*, baik untuk air panas dan air dingin dan lakukan pengedapan agar tidak terjadi kebocoran.



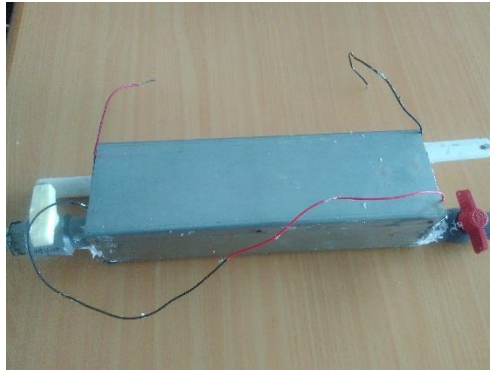
Gambar 4. 6. Pemasangan Pipa

9. Menyambungkan kabel termoelektrik dan rangkai secara seri. Rangkaian seri dilakukan untuk mengetahui tegangan maksimal yang akan dihasilkan.

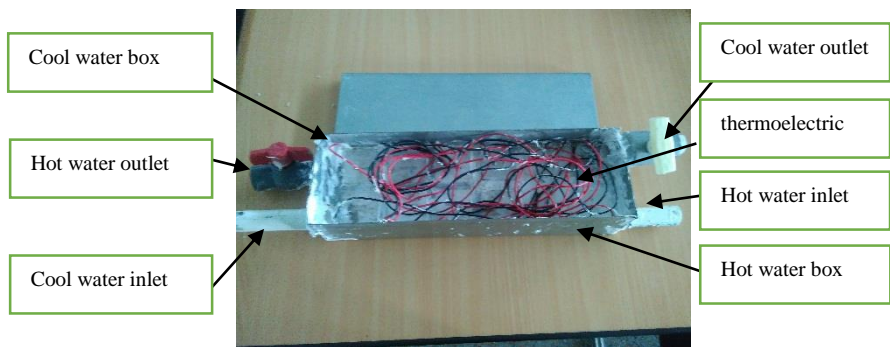


Gambar 4. 7. Rangkaian kabel

10. Menutup bagian atas prototipe dengan pelat yang sudah dibuat.
11. Prototipe pembangkit energi listrik dengan memanfaatkan air panas dan dingin pada sistem pendingin dapat dilihat sebagaimana gambar berikut.



Gambar 4. 8. Prototipe



Gambar 4. 9. Prototipe dan bagian-bagiannya

4.2. Percobaan dan Hasil Pengamatan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh perbedaan temperatur dan laju aliran (debit) terhadap daya listrik yang dihasilkan oleh prototipe pembangkit listrik dengan memanfaatkan sistem pendingin mesin. Dalam penelitian ini dilakukan dua jenis percobaan, yaitu percobaan dengan variasi temperatur dan variasi debit air.

4.2.1. Perbedaan Temperatur

a. Langkah-langkah percobaan

Berikut merupakan langkah-langkah percobaan untuk mengetahui pengaruh perbedaan temperatur.

1. Mempersiapkan prototipe yang sudah dirangkai.
2. Memanaskan air panas pada bejana penyimpan air panas hingga temperature 50 °C. Katub *hot water inlet* ditutup.
3. Mengamati temperatur air panas dengan menggunakan termometer.
4. Mengalirkan air panas tersebut ke dalam prototipe dengan membuka katub *hot water inlet*. Sementara katub *hot water outlet* masih dalam kondisi tertutup.
5. Setelah penuh, selanjutnya mengalirkan air dingin menuju prototipe dengan membuka *cool water inlet*. Sementara bagian katub *outlet* dibiarkan dalam kondisi tertutup. Sebelum mengalirkan air, terlebih dahulu dilakukan pengukuran terhadap temperatur air tersebut.
6. Mengamati tegangan dan arus yang dihasilkan dengan menggunakan multimeter yang sudah dirangkai pada prototipe tersebut.
7. Mencatat hasil pengamatan.
8. Membuang air panas dan dingin dengan membuka katub *outlet*.
9. Melakukan percobaan yang sama seperti nomor 2-7. Dengan variasi temperatur air panas mulai dari 55-95 °C.

b. Hasil Pengamatan

Data hasil pengamatan dapat dilihat dalam tabel berikut:

Tabel 4. 1. Data Hasil Pengamatan 1

No	Th air (°C)	Tc air (°C)	ΔT (°C)	tegangan (V)	Arus (A)
1	50	30	20	4	0.2
2	55	30	25	5	0.4

3	60	30	30	5.5	0.5
4	65	30	35	7	0.8
5	70	30	40	10	1.1
6	75	30	45	12	1.25
7	80	30	50	13	1.4
8	85	30	55	16	1.7
9	90	30	60	18.5	1.8
10	95	30	65	20	2

4.2.2. Debit

a. Langkah-langkah percobaan

Berikut merupakan langkah-langkah percobaan untuk mengetahui pengaruh debit air.

- Percobaan 1 (katub tertutup)

1. Mempersiapkan bejana tempat memanaskan air yang sudah terisi air penuh. Valve tetap dalam kondisi tertutup.
2. Memanaskan air panas pada bejana penyimpanan air panas hingga temperature 90°C. Katub *hot water inlet* ditutup.
3. Dalam percobaan ini, katub tetap berada dalam kondisi tertutup. Sehingga tidak ada air yang dialirkan menuju prototype. Sehingga debitnya adalah 0 L/s

- Percobaan 2 (katub setengah terbuka)

1. Mengulangi seperti percobaan 1 mulai dari langkah 1-2.
2. Untuk mengetahui debitnya, maka diletakkan gelas ukur dengan volume 250 mL tepat pada pipa keluaran dari bejana sebelum masuk ke prototipe. (pipa tidak dihubungkan ke prototipe, sehingga air akan masuk ke gelas ukur dahulu).
3. Membuka katub *inlet* dengan setengah bukaan.
4. Selama air mengalir, mencatat waktu yang diperlukan untuk mengisi gelas ukur 250 mL.
5. Setelah mengetahui debitnya, air dialirkan menuju prototipe dengan debit sama seperti yang diukur pada langkah sebelumnya.

6. Membiarkan air memenuhi prototipe dan mencatat juga waktu yang diperlukan air untuk memenuhi prototipe tersebut. Dengan memperhatikan tegangan yang terlihat dalam multimeter.
7. Jika sudah penuh dan sudah terlihat tegangannya, selanjutnya membuka katub *hot water outlet* dengan setengah bukaan. Sehingga debit yang masuk dan yang keluar akan sama
8. Kemudian mengalirkan air dingin menuju prototipe. Dengan membuka *cold water inlet*.
9. Mengamati dan mencatat tegangan dan arus yang dihasilkan.
 - Percobaan 3 (katub terbuka penuh)
 1. Mengulangi seperti percobaan 1 mulai dari langkah 1-2
 2. Untuk mengetahui debitnya, maka diletakkan gelas ukur dengan volume 250 mL tepat pada pipa keluaran dari bejana sebelum masuk ke prototipe. (pipa tidak dihubungkan ke prototipe, sehingga air akan masuk ke gelas ukur dahulu.
 3. Membuka katub inlet dengan bukaan penuh.
 4. Selama air mengalir, mencatat waktu yang diperlukan untuk mengisi gelas ukur 250 mL.
 5. Setelah mengetahui debitnya, air dialirkan menuju prototype dengan debit sama seperti yang diukur pada langkah sebelumnya.
 6. Membiarkan air memenuhi prototype dan mencatat juga waktu yang diperlukan air untuk memenuhi prototype tersebut. Dengan memperhatikan tegangan yang terlihat dalam multimeter.
 7. Jika sudah penuh dan sudah terlihat tegangannya, selanjutnya membuka katub *hot water outlet* dengan bukaan penuh. Sehingga debit yang masuk dan yang keluar akan sama
 8. Kemudian mengalirkan air dingin menuju prototipe. Dengan membuka *cold water inlet*.

9. Mengamati dan mencatat tegangan dan arus yang dihasilkan.

b. Hasil Pengamatan

Data hasil pengamatan dapat dilihat dalam tabel berikut:

Tabel 4. 2. Data Hasil Pengamatan 2

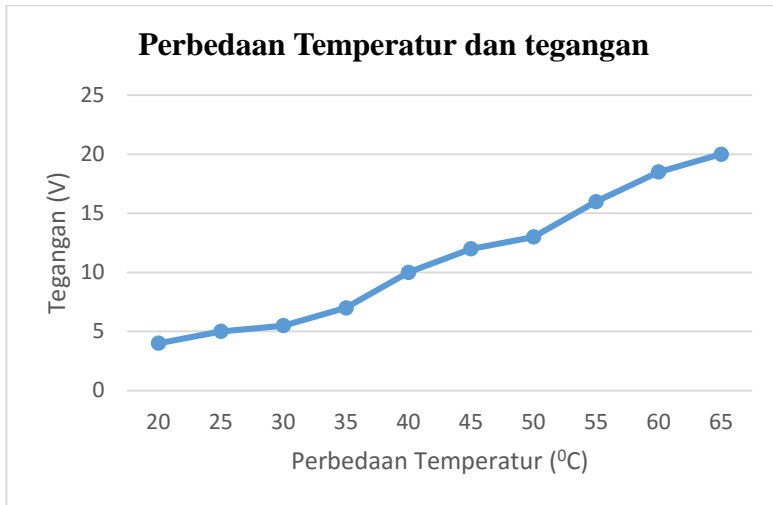
No	Kondisi valve	T water inlet (oC)	T water outlet (oC)	V _{prot} (L)	Debit (L/s)	waktu (s)	Tegangan (V)	Arus (A)
1	Tertutup	91	78	0	0	0	0	0
2	Terbuka setengah	91	78	0.9	0.05	18	18	1.8
3	Terbuka penuh	91	78	0.9	0.125	7.2	18	1.8

4.3. Analisa Data dan Pembahasan

4.3.1. Analisa dan Pembahasan Pengaruh Perbedaan Temperatur

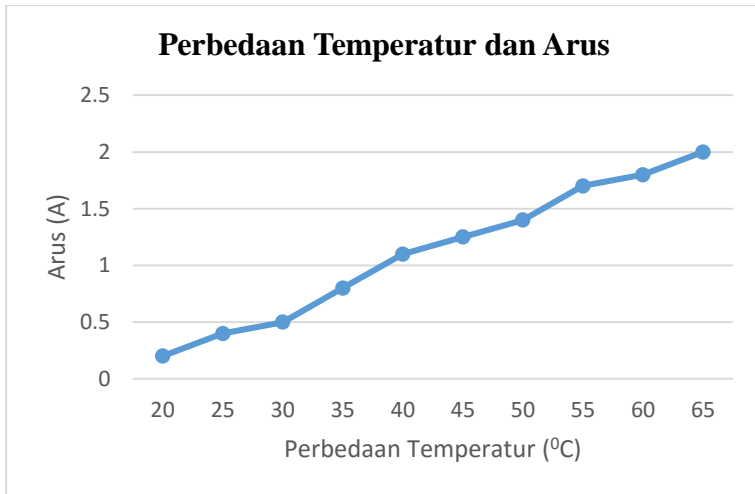
Pengujian alat dilakukan sampai temperatur air panas dan dingin sudah dalam kondisi stabil. Dalam percobaan ini, yang menjadi parameter utama dalam pengambilan data adalah temperatur.

Berdasarkan tabel 4.1. maka didapat sebuah grafik sebagaimana gambar berikut:



Gambar 4. 10. Grafik Perbandingan Beda Temperatur dan Tegangan

Dari grafik 4.10, dapat dilihat bahwa tegangan akan meningkat jika perbedaan temperatur antar kedua sisi termoelektrik juga semakin bertambah. Hal yang sama juga terjadi pada terjadi pada arus yang dihasilkan.



Gambar 4. 11. Grafik Perbedaan Temperatur dengan Arus

Dari grafik 4.11. terlihat bahwa arus yang dihasilkan juga berbanding lurus dengan perbedaan temperaturnya.

Dalam percobaan tersebut, tegangan maksimal (pada $T_h = 95^\circ\text{C}$) yang dihasilkan oleh 12 termoelektrik yang dirangkai seri adalah 20 Volt. Sedangkan arusnya adalah 2 Ampere. Sehingga, dengan menggunakan rumus:

$$P = V \times I$$

Di mana:

P = Daya (watt)

V = Tegangan (Volt)

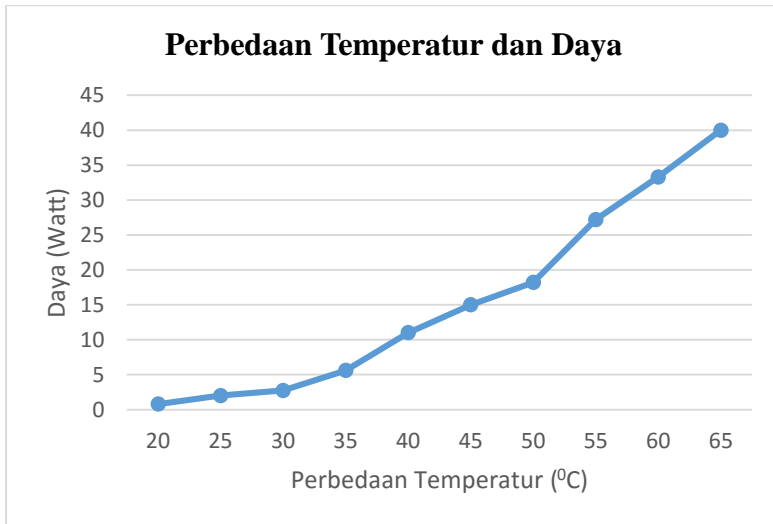
I = Arus (Ampere)

Maka, daya yang dihasilkan adalah

$$P = V \times I$$

$$P = 20 \times 2$$

$$P = 40 \text{ Watt}$$



Gambar 4. 12. Grafik Perbedaan Temperatur dengan Daya

Daya yang dihasilkan oleh termoelektrik sangat bergantung pada perbedaan temperatur yang didapatkan. Karena panas buang mesin bersifat fluktuatif, nilai daya yang dihasilkan juga dapat berubah-ubah. Namun, selama mesin bekerja nilai dayanya akan terus ada. Hal penting lainnya adalah bahwa daya keluaran adalah hasil perbedaan temperatur ke dua sisi modul termoelektrik. Artinya bukan berarti bagaimana mendapatkan jumlah kalornya, akan tetapi seberapa besar perbedaan temperatur yang didapatkan. Semua ini berhubungan dengan efisiensi dari termoelektrik itu sendiri. Jika perbedaan temperaturnya semakin besar, maka daya keluarannya juga makin besar, hingga titik maksimum efisiensi peltier tersebut.

Oleh karena itu, konsep desain daripada prototipe ini adalah bagaimana menghasilkan perbedaan temperature sebesar mungkin di antara kedua sisi termoelektrik tersebut. Dalam penelitian sebelumnya, prototipe belum bisa menghasilkan daya yang maksimal disebabkan karena sistemnya tidak bisa mendapatkan ΔT yang maksimal pula. Hal itu disebabkan karena adanya panas-

panas yang hilang. Sebab, air harus memanaskan pelat terlebih dahulu, selanjutnya pelat tersebutlah yang akan menghantarkan panas menuju termoelektrik. Hal ini membuat temperatur air yang bergesekan dengan termoelektrik tidak sama dengan temperatur pada air yang dipanaskan di bejana.

Sistem dari prototipe ini adalah dengan memberikan kontak langsung air panas dan air dingin pada kedua sisi termoelektrik tanpa melalui penghantar panas. Air yang mengalir dari bejana tidak akan jauh berbeda dengan temperatur air yang bergesekan dengan termoelektrik. Dengan begitu, akan didapat perbedaan temperatur yang lebih besar dan bisa menghasilkan energi listrik yang lebih besar pula.

Dalam simulasi dengan menggunakan Matlab, dapat dilihat bahwa dengan memasang 12 termoelektrik yang dirangkai secara seri, desain sistem tersebut seharusnya bisa mendapatkan tegangan sebesar 24 Volt. Masing-masing termoelektrik menghasilkan tegangan sebesar 2 Volt. Hal ini terjadi karena pada simulasi dengan *software* tersebut tidak ada hambatan yang memengaruhi. Hambatan-hambatan yang dimaksud adalah hambatan pada kawat penghantar (kabel). Besar hambatan suatu kawat penghantar sebanding dengan panjang kawat penghantar. artinya makin panjang penghantar, makin besar hambatannya. Selain itu juga bergantung pada jenis bahan kawat (sebanding dengan hambatan jenis kawat). Dan yang terakhir berbanding terbalik dengan luas penampang kawat, artinya makin kecil, luas penampang, makin besar hambatannya.

Nilai hambatan suatu penghantar tidak bergantung pada beda potensialnya. Beda potensial hanya dapat mengubah kuat arus yang melalui penghantar itu. Jika penghantar yang dilalui sangat panjang, kuat arusnya akan berkurang. Hal itu terjadi karena diperlukan energi yang sangat besar untuk mengalirkan arus listrik pada penghantar panjang. Hal lain yang menyebabkan tegangan yang dihasilkan dalam sistem ini tidak maksimal adalah adanya panas-panas yang tidak diserap oleh termoelektrik. Panas-panas

tersebut hilang saat air mengalir melalui pipa dan pelat-pelat di dinding termoelektirk.

Dari percobaan ini, dapat diketahui bahwa sistem pendingin sangat berpotensi untuk bisa membangkitkan energi listrik dengan menggunakan termoelektrik. Karena besarnya daya tergantung pada beda temperatur yang ada pada kedua sisi termoelektrik. Sedangkan beda temperatur pada air panas buangan mesin dan air dingin dari laut juga cukup besar. Sehingga, jika dipasang termoelektrik lebih banyak, maka daya yang dihasilkan tiap waktunya akan semakin besar. Selain itu, rangkain termoelektrik pada sistem ini juga bisa diganti sesuai dengan kebutuhan. Jika diinginkan tegangan yang besar, maka termoelektrik harus dirangkai secara seri. Sedangkan jika yang dibutuhkan adalah arus yang besar, maka rangkaiannya adalah rangkaian paralel.

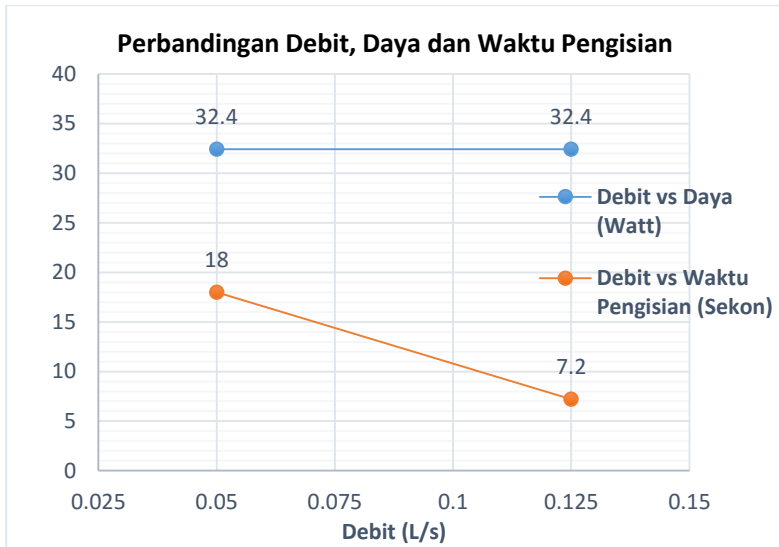
4.3.2. Analisa dan Pembahasan Pengaruh Debit Air

Berdasarkan tabel 4.2. maka dapat dilakukan perhitungan lebih lanjut mengenai daya, laju aliran massa, waktu pengisian, dan massa air yang terdapat dalam prototipe. Sehingga didapat tabel sebagai berikut:

Tabel 4. 3. Data percobaan

No	Kondisi valve	T water inlet (oC)	T water outlet (oC)	Debit (L/s)	waktu (s)	V (L)	massa (gr)	Laju aliran massa (gr/s)	tegangan (V)	Arus (A)	Daya
1	valve tertutup	91	78	0	0	0	0	0	0	0	0
2	valve terbuka setengah	91	78	0.05	18	0.9	900	50	18	1.8	32.4
3	valve terbuka penuh	91	78	0.125	7.2	0.9	900	125	18	1.8	32.4

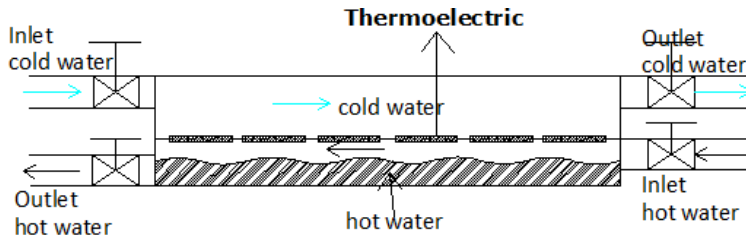
Dari tabel 4.3. maka didapat grafik sebagaimana berikut:



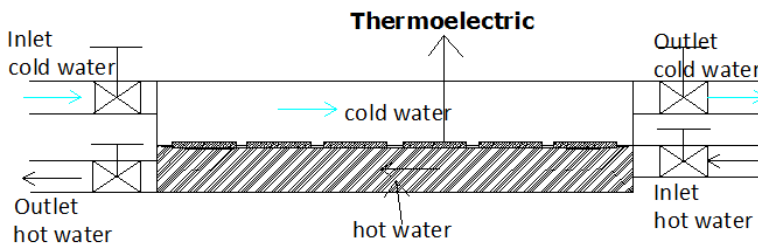
Gambar 4. 13. Grafik perbandingan debit, daya, dan waktu pengisian

Berdasarkan grafik 4.13, dapat dilihat bahwa debit air yang mengalir menuju prototipe tidak begitu berpengaruh pada tegangan dan arus yang dihasilkan. Melainkan berpengaruh pada lamanya waktu pengisian yang dibutuhkan air untuk memenuhi prototipe. Dalam percobaan telah dilakukan tiga variasi percobaan yang berbeda. Yang menjadi variabel bebas adalah bukaan katub. Baik katub *inlet* maupun *outlet*. Bukaan katub tersebut berpengaruh pada debit air. Sementara debit air juga berpengaruh pada laju aliran massa dan lamanya waktu pengisian. Tetapi tidak pada daya yang dihasilkan. Pada dasarnya, tegangan dan arus akan dihasilkan jika terjadi perbedaan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin thermoelectric. Air panas yang mengalir ke dalam prototipe akan bisa menghasilkan daya jika sudah bersentuhan dengan termoelektrik. Sementara dalam percobaan tersebut, air panas akan bisa menyentuh termoelektrik jika air sudah bisa memenuhi prototipe. Hal itu disebabkan karena desain dari penempatan

termoelektrik diletakkan di bagian atas dari kotak penyimpanan air panas.

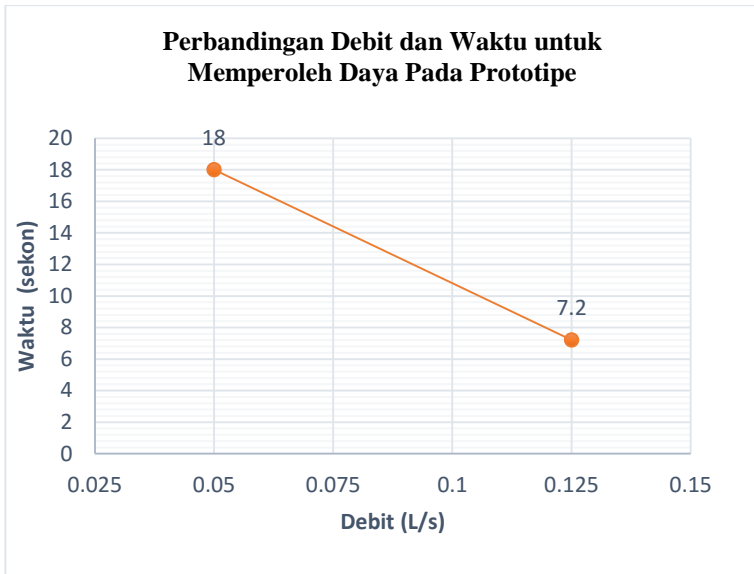


Gambar 4. 14. Kondisi jika air tidak penuh



Gambar 4. 15. Kondisi jika air penuh

Volume air panas yang dibutuhkan untuk masuk dalam prototype yaitu 900 mL. Jika debit air sebesar 0.05 L/s (katup setengah terbuka), maka waktu yang diperlukan untuk memenuhi prototype adalah 18 detik. Sementara jika debit air sebesar 0.125 L/s (katup terbuka penuh), maka waktu yang diperlukan adalah 7,2 detik. Jika debit semakin besar, maka waktu yang dibutuhkan untuk memenuhi volume prototype akan semakin cepat. Lama waktu pengisian tersebut akan berpengaruh pada waktu yang dibutuhkan oleh prototype untuk menghasilkan dayanya. Hal itu dapat dilihat dari grafik di bawah ini:



Gambar 4. 16. Perbandingan Debit dan Waktu untuk Memperoleh Daya pada Prototipe

Dari grafik 4.16., saat kondisi katub terbuka setengah (0,05 L/s), waktu yang dibutuhkan oleh prototipe untuk bisa menghasilkan dayanya adalah 18 detik. Sementara jika katub terbuka penuh, waktu yang dibutuhkan adalah 7,2 detik. Artinya, lama waktu pengisian berbanding lurus dengan lama waktu yang dibutuhkan untuk memperoleh daya.

4.3.3. Perhitungan Energi yang Terbuang

Jika dibahas lebih lanjut, debit dari aliran air akan berpengaruh pada besarnya energi panas yang terbuang per satuan waktunya. Energi panas yang terbuang dari prototipe tersebut dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$q = m \times C_p \times dT$$

Di mana :

q	= Energi panas yang terbangun	(Joule)
m	= Massa	(Kg)
Cp	= Kalor jenis	(J/Kg ⁰ C)
dT	= Perbedaan temperature pada input dan output	(⁰ C)

Dengan menggunakan rumus tersebut, maka perhitungan energi yang terbangun adalah

- Energi yang terbangun saat kondisi katub setengah terbuka
Diketahui:
 - Debit (Q) = 0.05 L/s = 0.05 x 10⁻³ m³/s
 - Cp air = 4200 J/kg⁰C
 - T_{input} = 91 ⁰C
 - T_{output} = 78 ⁰C

Maka energi yang terbangun tiap satuan waktu adalah

$$q = m \times Cp \times dT$$

$$q = (\rho \cdot Q \cdot t) \times Cp \times (T_{input} - T_{output})$$

$$\frac{q}{t} = \rho \cdot Q \times Cp \times (T_{input} - T_{output})$$

$$\frac{q}{t} = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 0.05 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \times 4200 \text{ J/kg}^0\text{C} \times (91-78)^0\text{C}$$

$$\frac{q}{t} = 2730 \text{ J/s}$$

- Energi yang terbangun saat kondisi katub terbuka penuh
Diketahui:
 - Debit (Q) = 0.125 L/s = 0.125 x 10⁻³ m³/s
 - Cp air = 4200 J/kg⁰C
 - T_{input} = 91 ⁰C
 - T_{output} = 78 ⁰C

Maka energi yang terbangung tiap satuan waktu,

$$q = m \times C_p \times dT$$

$$q = (\rho \cdot Q \cdot t) \times C_p \times (T_{\text{input}} - T_{\text{output}})$$

$$\frac{q}{t} = \rho \cdot Q \times C_p \times (T_{\text{input}} - T_{\text{output}})$$

$$\frac{q}{t} = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 0.125 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \times 4200 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C} \times (91-78)^{\circ}\text{C}$$

$$\frac{q}{t} = 6825 \text{ J/s}$$



Gambar 4. 17. Perbandingan Debit dengan Energi yang Terbangung Tiap Satuan Waktu

Dalam kasus ini, sebagaimana dalam rumus:

$$q = m \times Cp \times dT,$$

yang paling berpengaruh pada energi yang terbangun adalah massa (m). Massa air tersebut sangat dipengaruhi oleh debit dari laju aliran massa (gr/s). Sementara laju aliran massa juga dipengaruhi oleh debit (Q) air yang mengalir. Artinya, semakin besar debitnya, maka semakin besar pula laju energi yang terbangun tiap satuan waktunya.

Simulasi ini juga sesuai dengan apa yang terjadi dalam proses pembakaran di *engine*. Performa *engine* akan berpengaruh pada energi yang digunakan sekaligus energi yang dibuang. Semakin sering dan semakin besar *power* yang dihasilkan dalam kerja *engine*, maka massa air yang mengalir menuju sistem pendingin juga akan semakin besar. Jika suatu *engine* bekerja terus menerus dengan putaran yang tinggi, maka energi yang terbangun pun juga akan semakin besar. Besarnya energi yang terbangun itu sangat potensial untuk diserap dan dikonversi menjadi energi yang lebih berguna.

4.3.4. Perhitungan Energi yang Diserap

Dengan menggunakan prototype ini, maka energi yang terbangun dalam bentuk panas tersebut bisa dikonversi menjadi energi listrik yang lebih berguna. Besaran energi yang bisa diserap untuk dikonversi menjadi listrik bisa diketahui dalam hitungan berikut

Perhitungan energi ini dilakukan dalam kondisi *full load* atau dalam kondisi kerja maksimal (katub terbuka penuh):

Diketahui:

- a. Daya yang dihasilkan prototipe (P) = 32,4 Watt
- b. Laju energi yang terbangun ($\frac{q}{t}$) = 6825 J/s

Maka energi yang diserap adalah

$$\text{Penyerapan energi} = \frac{\text{Daya yang dihasilkan prototipe}}{\text{Laju energi yang terbuang}}$$

$$\text{Penyerapan energi} = \frac{32,4}{6825} \times 100 \%$$

$$\text{Penyerapan energi} = 0,4 \%$$

Penyerapan energi untuk diubah menjadi listrik dengan menggunakan prototipe ini adalah sebesar 0,4 persen. Hal ini membuktikan bahwa metode konversi energi dengan menggunakan termoelektrik pada sistem pendingin masih sangat potensial untuk bisa menghasilkan energi listrik yang lebih besar.

Prosentase yang relatif masih kecil itu dikarenakan masih banyak energi yang masih belum bisa diubah menjadi listrik oleh termoelektrik. Jumlah temperatur yang diserap oleh prototype ini adalah perbandingan antara temperatur saat masuk dan saat keluar dari prototipe. Temperatur yang masuk sebesar 91 °C, sedangkan yang keluar adalah 78 °C. Sehingga, ada temperatur sebesar 13 °C yang hilang saat melewati prototipe. Artinya, temperature sebesar itulah yang diserap oleh prototipe. Baik itu oleh termoelektrik, maupun bahan dari prototipe tersebut. Hal itulah yang menyebabkan prosentase penyerapan energi yang dikonversi menjadi listrik masih relatif kecil. Energi yang terbuang lebih banyak diserap oleh dinding-dinding prototipe dan pipa-pipa instalasi. Sedangkan yang diserap oleh termoelektrik masih sedikit. Hal itu terjadi karena luasan permukaan termoelektrik yang bersentuhan jauh lebih kecil dari jumlah luasan permukaan dinding-dinding prototipe. Prosentase yang terserap akan menjadi lebih besar jika desain prototipe tersebut bisa menampung lebih banyak termoelektrik. Karena semakin banyak termoelektrik yang dipasang pada dinding-dinding prototipe maka akan semakin banyak pula luasan dari termoelektrik yang bersentuhan langsung dengan air panas. Sehingga akan didapat energi listrik yang lebih besar.

4.4. Aplikasi pada Kapal

Hasil penelitian ini coba diaplikasikan pada sistem pendingin pada mesin induk Wartsila 6L20. Berikut merupakan data dari sistem pendingin pada mesin wartsila 6L20:

Fresh Water flow at 100% load	= 30 m ³ /h= 8,3x10 ⁻³ m ³ /s
Pressure drop over engine	= 0,12 bar
Temperature after engine (T _{input})	= 91 °C
Temperature before engine (T _{output})	= 83 °C

Dari data tersebut, dapat dihitung laju aliran energi panas yang terbuang menuju pendingin yang bisa dikonversi menjadi energi listrik melalui perhitungan berikut,

$$q = m \times C_p \times dT$$

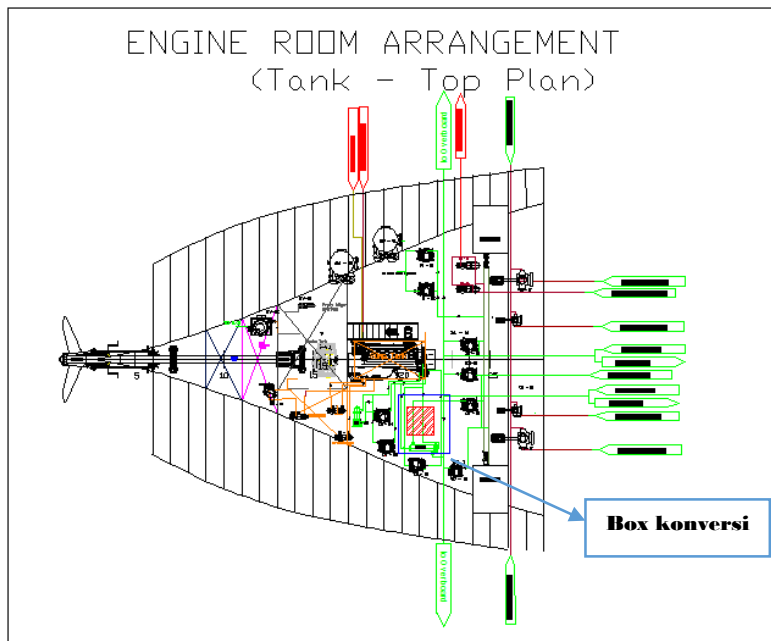
$$q = (\rho \cdot Q \cdot t) \times C_p \times (T_{\text{input}} - T_{\text{output}})$$

$$\frac{q}{t} = \rho \cdot Q \times C_p \times (T_{\text{input}} - T_{\text{output}})$$

$$\frac{q}{t} = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 8,3 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \times 4200 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \times (91-83)^\circ\text{C}$$

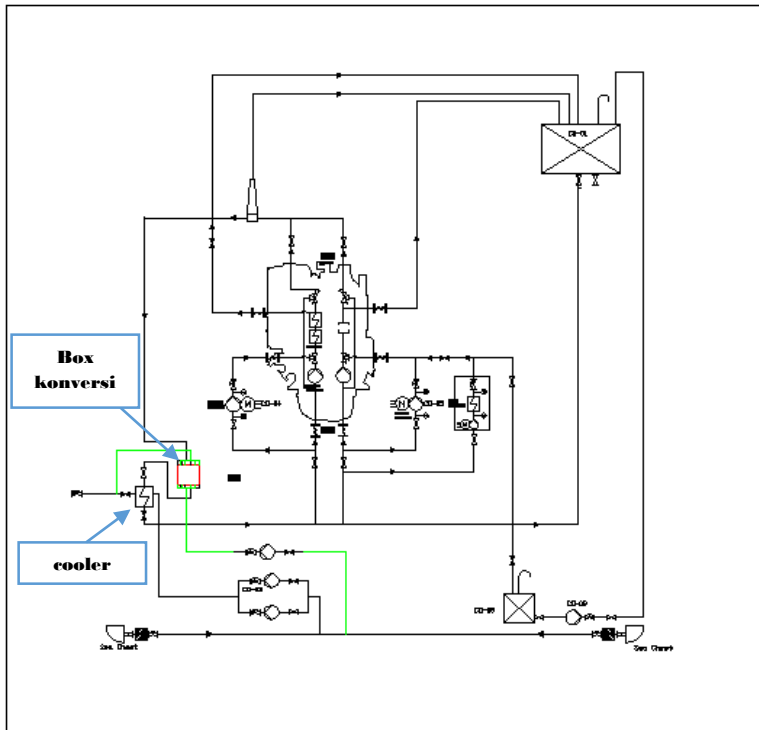
$$\frac{q}{t} = 278.880 \text{ J/s}$$

Dengan perhitungan tersebut, maka akan ada potensi energi panas yang bisa dikonversi menjadi energi listrik sebesar 278.880 J/s. Besarnya energi listrik yang dihasilkan juga akan tergantung pada jumlah maksimal dari thermoelectric yang dipasang dalam kotak/box pengkonversi ini. Box ini akan dipasang pada sistem pendingin *main engine* dan akan ditempatkan sebelum *cooler*. Jadi, sebelum air panas didinginkan oleh *cooler*, air tersebut terlebih dahulu masuk ke box dan akan dimanfaatkan menjadi energi listrik. Besarnya alat juga disesuaikan dengan *space* yang ada di kamar mesin. Semakin luas *space* dari kamar mesin, maka semakin besar pula alat yang bisa dibuat. Gambar 4.18. merupakan contoh penempatan box konversi dalam kamar mesin



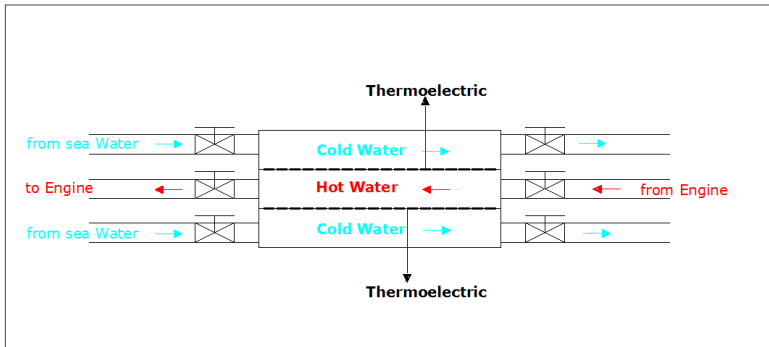
Gambar 4. 18. Penempatan box konversi di kamar mesin

Di dalam kamar mesin tersebut (detail gambar terlampir), ada *space* seluas 1 m^2 yang bisa digunakan untuk meletakkan box konversi. Sehingga akan dibuat box dengan luas 1 m^2 . Sedangkan desain sistem perpipaan dan penempatan pada sistem pendingin dapat dilihat dalam gambar 4.19. (detail gambar terlampir)



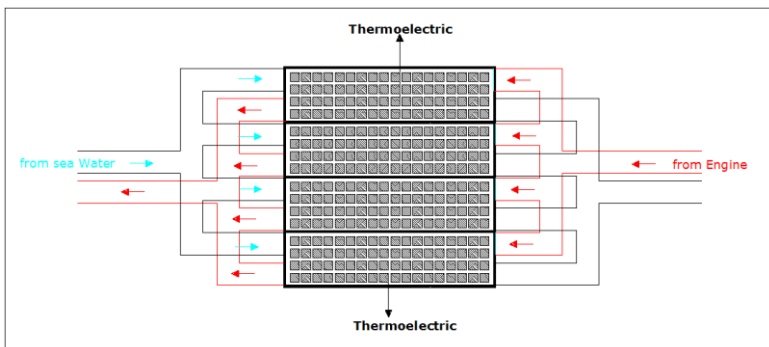
Gambar 4. 19. Modifikasi desain cooling system

Gambar 4.19 merupakan modifikasi dari sistem pendingin mesin wartsila 6L20 agar bisa diletakkan box konversi dalam sistem tersebut. Air panas akan menuju box konversi terlebih dahulu kemudian mengalir menuju cooler. Sedangkan air dingin (*sea water*) masuk melalui *sea chest* dan dipompa menuju box konversi. Sistem perpipaan untuk air dingin ini menggunakan sistem yang terpisah dari sistem pendingin. Hal itu dilakukan agar tidak mengganggu kerja dari sistem pendingin itu sendiri. Sementara detail dari box konversi dan penempatan thermoelectricnya bisa dilihat pada gambar 4.20 dan 4.21.



Gambar 4. 20. Desain box konversi

Desain dari box ini terdiri dari tiga bagian, dua buah box untuk menyimpan air dingin dan sebuah box penyimpan air panas yang ditaruh di antara kedua box penyimpan air dingin. Kedua sisi dari box air panas (bagian atas dan bawah) akan dipasang thermoelectric. Sehingga jumlah thermoelectric yang dipasang akan lebih banyak. Dikarenakan thermoelectric terpasang di kedua sisi box, maka dibutuhkan dua aliran pendingin yang digunakan untuk mendingin thermoelectric. Tujuannya adalah agar terjadi perbedaan temperatur yang cukup besar di antara kedua sisi thermoelectric.



Gambar 4. 21. Penempatan thermoelectric pada box

Sebagaimana terlihat pada gambar 4.21, desain dari box dibuat memanjang. Box air panas berdimensi 95 cm x 25 cm x 15 cm. Untuk sebuah sisi box dengan luas 95 cm x 25 cm bisa terpasang 72 keping thermoelectric. Jika terdapat dua sisi yang akan dipasang, maka masing-masing box bisa menampung 144 keping thermoelectric. Dalam kamar mesin yang dirancang sebagaimana gambar 4.18, terdapat *space* seluas 1 m². Sehingga bisa tersusun 4 box yang mampu menampung total 576 keping thermoelectric. Sistem perpipaan dibuat bercabang dan kemudian masuk ke masing-masing box. Hal itu bertujuan agar temperatur pada keempat box tersebut sama besar.

Berdasarkan data eksperimen (lihat tabel 4.1), 12 keping thermoelectric bisa menghasilkan daya sebesar 40 watt. Maka daya yang bisa didapat bisa dihitung sebagaimana berikut:

$$12 \text{ keping (1 bank)} = 40 \text{ watt}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah bank} &= \frac{\text{jumlah thermoelectric}}{12} \\ &= \frac{576}{12} = 48 \text{ bank.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Daya yang dihasilkan} &= \text{jumlah bank} \times 40 \text{ watt} \\ &= 48 \times 40 \\ &= 1920 \text{ Watt} = 1,92 \text{ Kw} \end{aligned}$$

Daya 1,92 Kw sudah cukup untuk digunakan pada lampu-lampu penerangan di kamar mesin.

4.5. Analisa Ekonomi

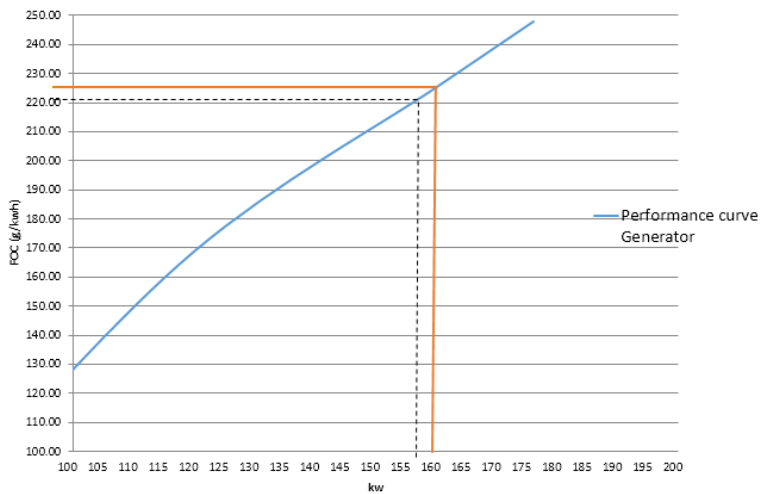
Penambahan box konversi pada sistem pendingin tentunya akan membantu kinerja generator set yang digunakan di kapal. Adanya daya sebesar 1,92 KW cukup digunakan untuk lampu-lampu penerangan di kamar mesin. Sehingga akan menghemat biaya konsumsi bahan bakar. Berikut merupakan perhitungan analisa

ekonomi penggunaan box konversi pada sistem pendingin dan dampak yang terjadi pada generator KH-C220.

Tabel 4. 4. Fuel Consumption KH-C220

Fuel Consumption				
Load (KW)	50%	75%	100%	110%
	80	120	160	176
l/hr	15.9	31.8	42.4	46.64
g/kwh	84.47	168.94	225.25	247.78

Dari tabel 4.4. dapat dibuat sebuah kurva *performance curve generator* sebagai berikut:



Gambar 4. 22. Performance curve generator

Pada gambar 4.22, garis berwarna *orange* merupakan garis yang menunjukkan konsumsi bahan bakar saat generator bekerja 100 persen *load* (225 gr/kwh). Sementara garis putus-putus merupakan garis yang menunjukkan konsumsi bahan bakar setelah penambahan box konversi.

d. Perhitungan biaya bahan bakar 100 % load genset KH-C220

SFOC	= 225 gr/kwh
Daya generator	= 160 kw
Estimasi waktu pelayaran	= 2 hari (Surabaya-jakarta)
Banyak pelayaran dalam setahun	= 104 trip (1 minggu 2 kali)
Kebutuhan bahan bakar dalam setahun	= SFOC x Daya x waktu pelayaran x banyaknya trip = $225 \times 160 \times 2 \times 24 \times 104 \times 10^{-6}$ = 179.72 ton/tahun

Harga MDO (per 29 april 2016) (www.bunkerindex.com) = 355 USD/MT

Kurs USD to IDR (per 17 mei 2016) = 13,379/ USD

Biaya Bahan Bakar Selama Satu Tahun = Kebutuhan Bahan Bakar selama Satu Tahun x Harga Bahan Bakar
= 840,069,709 per tahun

e. Perhitungan biaya bahan bakar genset KH-C220 setelah penambahan box konversi

SFOC	= 221 gr/kwh
Daya generator	= 158,08 kw
Estimasi waktu pelayaran	= 2 hari (Surabaya-jakarta)
Banyak pelayaran dalam setahun	= 104 trip (1 minggu 2 kali)
Kebutuhan bahan bakar dalam setahun	= SFOC x Daya x waktu pelayaran x banyaknya trip = $221 \times 160 \times 2 \times 24 \times 104 \times 10^{-6}$ = 174.39 ton/tahun

Harga MDO (per 29 april 2016) (www.bunkerindex.com) = 355 USD/MT

Kurs USD to IDR (per 17 mei 2016) = 13,379/ USD

Biaya Bahan Bakar Selama Satu Tahun = Kebutuhan Bahan Bakar selama Satu Tahun x Harga Bahan Bakar
= 815,233,515 per tahun

Tabel 4. 5. Biaya pembuatan box konversi

no	Nama barang	dimensi	Jumlah	Harga satuan	Harga
1	Plat Stailless steel 0,4	1,22 x 2,44 m	2	251328	502,656
2	Thermoelectric (TEC 12076)	4 x 4 mm	576	35000	20,160,000
	Total				20,662,656.00

Menghitung Break Event Point (BEP)

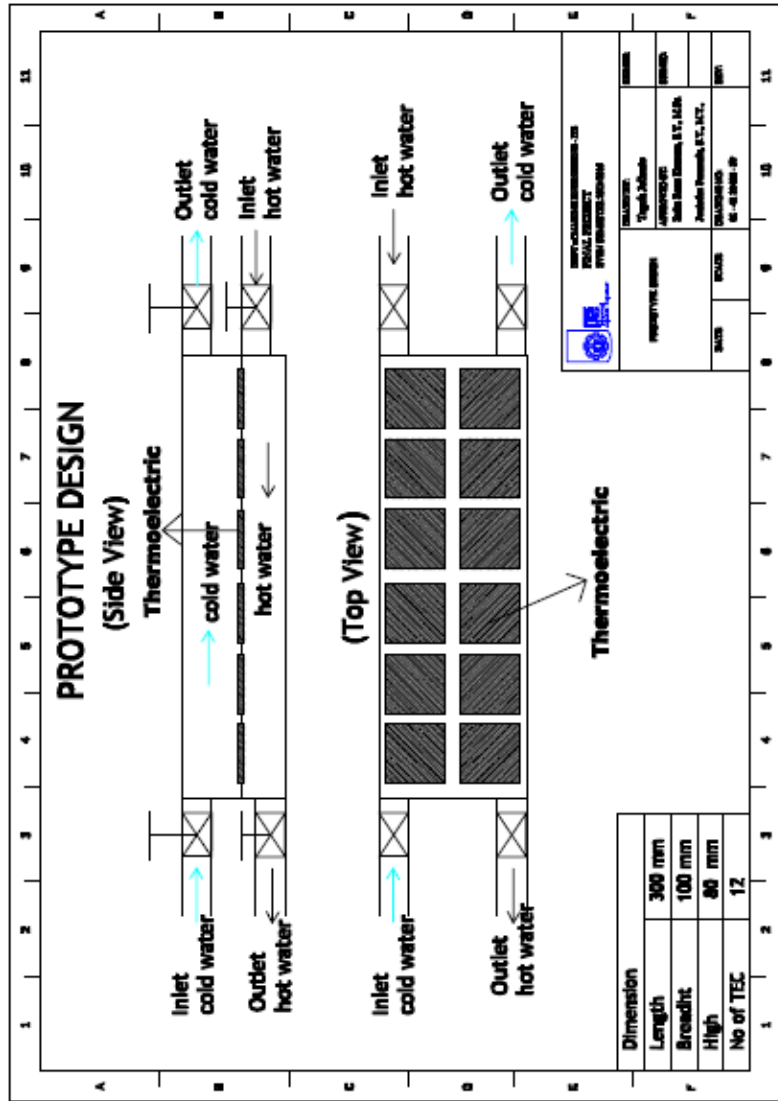
Keuntungan dalam satu tahun (IDR) = 24,836,194

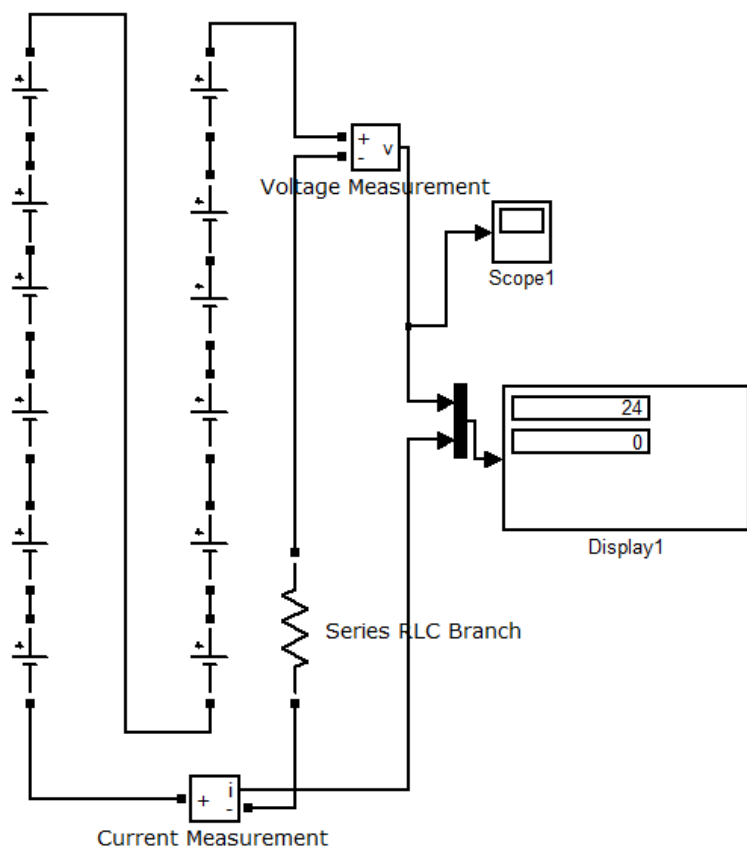
Keuntungan dalam satu bulan (IDR) = 2,069,682.85

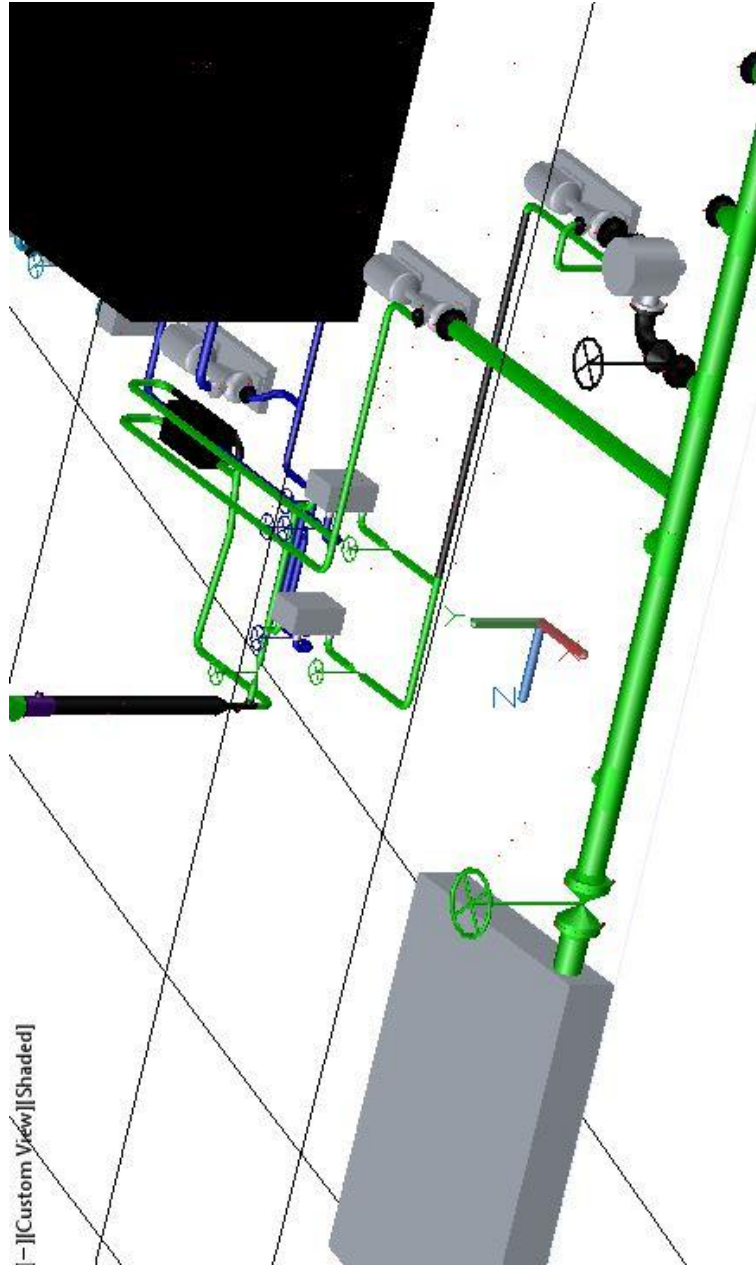
Biaya pembuatan alat (IDR) = 20,662,656.00

Modal akan kembali pada bulan ke = 9.983488999 (Bulan ke 10)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”







[-][Custom View][Shaded]

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sugiono “Outlook Energi Indonesia 2014”. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). Jakarta
- [2] Guojin, Chen. “Study on Air Intake and Cooling System for Marine Diesel Engine”. *Telkomnika Indonesian Journal of Electrical Engineering*, ;2014:. 998-1004
- [3] Wartsila. “Wartsila 20 Product Guide”. Wärtsilä. Finlandia
- [4] Lutfi, Achmad Saifuddin. “Prototype Pembangkit Daya Termoelektrik Pada Sistem Pendingin Engine Kapal Untuk Pengisian Baterai Starting Generator-Set”. Institut Teknologi Sepuluh Nopember; 2015
- [5] Putra, Nandy. (2009). “Potensi Pembangkit Daya Termoelektrik untuk Kendaraan Hibrid” *Makara Teknologi*, Vol. 13, No. 2, 53-58.
- [6] Farid, Ahmad. *Analisa Sistem Pembangkit Berbasis Thermoelektrik Dengan Rangkaian Seri Pada Pemanfaatan Panas Buang Mesin Toyota Tipe 4K*.
- [7] Wirawan, Rio. *Analisa Penggunaan heat pipe pada thermoelectric generator*. Universitas Indonesia. 2012
- [8] W. He dkk. “Optimization Design Method Of Thermoelectric Generator Based On Exhaust Gas Parameters For Recovery Of Engine Waste Heat” *Energy* 91 ; 2015: 1-9
- [9] M.F. Rameli. “Power generation from waste heat using Heat Pipe and Thermoelectric Generator” *Energy Procedia* 75 ; 2015: 645 – 650
- [10] R.Y. Nuwayhid, A. Shihadeh, N. Ghaddar, *Energy Convers Manage* 46/9-10 (2005) 1631
- [11] Kin Yip Wong. “Thermoelectric Material and Devioces – Recover wasted from vehicles”. Departement of Physic and Material Science – City University of Hong Kong. 2011
- [12] Dr. Terry Hendricks, William T. Choate. “Engineering Scoping Study of Thermoelectric Generator System for Industri Waste Recovery”. *Industrial Technology Program – U.S. Department of Energy*. 2009.

- [13] G. Min, D.M. Roe, Handbook of thermoelectrics, Peltier devices as generator, CRC Press LLC, Florida, 1994, p.479.
- [14] Thermoelectric Generator, thermo1, www.thermo1.com, 2008.
- [15] HZ-14 Thermoelectric Module, Hi-Z Technology inc, <http://www.hi-z.com/hz14.php>, 2008.
- [16] J. Eakburanawat, I. Boonyaroornate, Appl. Energy. 83/7 ;2006: 687.
- [17] Kin Yip Wong. *“Thermoelectric Material and Devices – Recover Wasted Heat from Vehicles”*. Department of Physics and Materials Science – City University of Hongkong, Maret 2011.
- [18] Dr. Terry Hendricks, William T. Choate. *“Engineering Scoping Study of Thermoelectric Generator System for Industrial Waste Heat Recovery”*. Industrial Technologies Program – U.S. Department of Energy. November 2006
- [19] Ryanuargo, dkk. *“Generator Mini dengan Prinsip Termoelektrik dari Uap Panas Kondensor pada Sistem Pendingin”*. Universitas Gunadarma. Jurnal Rekayasa Elektriika Vol. 10, No. 4, Oktober 2013

BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Teguh Julianto. Sebagai anak ketiga dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Pamuji dan Ibu Sumiati. Lahir di Malang pada tanggal 15 Juli 1994. Penulis mengawali pendidikan di SDN Mulyorejo 02 pada tahun 2000-2006, kemudian melanjutkan pendidikan ke SMPN 1 Ngantang hingga tahun 2009. Setelah lulus dari SMAN 1 Ngantang tahun 2012, penulis melanjutkan pendidikan Sarjana di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama berkuliah, penulis juga aktif menjadi wartawan kampus di ITS Online, aktif di Lembaga Dakwah Kampus, dan Pencak Silat Perisai Diri. Karya tulis yang penulis buat juga beberapa kali mendapat dana hibah dari Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi.

Email: teguh.julianto.7@gmail.com

“Halaman ini sengaja dikosongkan”